



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato della Difesa dell'Ambiente

D.L. n. 180/98 convertito con L. n. 267/98.
Esecutività della D.G.R. n. 38/14 del 08.08.2017 di riprogrammazione delle risorse degli interventi di sistemazione idraulica per la mitigazione del rischio e della pericolosità idrogeologica.
Determinazione di delega del Dir. Serv. TNPf prot. 22133 rep. 676 del 20.10.2017

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SUL RIO CANNAS - SAN PRIAMO (SISTEMAZIONE IDRAULICA DELLA EX SS 125 AL RIO PICOCCHA CHIAVICA IN IMMISSIONE RIO CUGURRANTI - PROTEZIONE RILEVATO EX SS 125)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Il Progettista ing. Andrea Sanguinetti	Il Responsabile del Procedimento ing. Giampaolo Porru	Allegato 3
Il Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione geom. Giovanni Dessì	Il collaboratore alla progettazione geol. Pasqualino Littera	Scala
		Data: Ottobre 2021
		Revisione: Settembre 2022

INDICE

1.	Premessa	2
2.	Inquadramento territoriale	3
3.	Inquadramento vincolistico	4
3.1	Piano di Assetto Idrogeologico	4
3.2	Piano Stralcio delle Fasce Fluviali	6
3.3	Adeguamento del PUC di San Vito al PAI	7
3.4	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	8
3.5	Piano Paesaggistico Regionale	9
3.6	Rete Natura 2000 e “Legge Quadro per le aree protette”	10
3.7	Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs 42/04 e smi)	11
4.	Informazione territoriale utilizzata	13
5.	Studio idrologico	14
5.1	Reticolo idrografico	14
5.2	Rio Picocca	15
5.3	Rio Cannas	17
6.	Studio idraulico - stato attuale	26
6.1	Il codice di calcolo HEC-RAS	26
6.2	Base teorica della verifica idraulica	26
6.3	Modello idraulico	28
6.4	Risultati dell’analisi idraulica	32
7.	Interventi in progetto	33
7.1	Rio Cannas	35
7.2	Rio Picocca	51
7.3	Chiavica	54
7.4	Cassa di laminazione	64

1. Premessa

La presente relazione idrologica e idraulica è parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo a *“Interventi di sistemazione idraulica sul rio Canna – San Priamo (sistemazione idraulica della ex SS 125 al rio Picocca chiavica in immissione. Rio Cugurranti – protezione rilevato ex SS 125)”*.

I lavori previsti nell'allegato 2 della convenzione tra l'Assessorato della Difesa dell'Ambiente della Regione Autonoma della Sardegna e il Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale, repertorio 24322-31 del 10.11.2014, consistono nell'adeguamento della esigua sezione idraulica del rio Cannas ai parametri di calcolo idraulico oggi vigenti in dipendenza del PSFF, nel tratto compreso tra il ponte sulla ex SS 125 e lo sfocio sul rio Picocca; realizzazione nello sfocio sul rio Picocca di una chiavica multi paratoia, antireflusso, a protezione dell'abitato di San Priamo in occasione degli eventi di piena del rio Picocca; esecuzione argine a tergo gabbioni (sul rio Picocca), al fine di consolidarne la stabilità, creare una barriera idraulica e contestualmente una via d'accesso alla chiavica in momenti di criticità ambientale.

I lavori previsti nell'allegato 2 della convenzione e riguardanti il rio Cugurranti, invece, come anticipato nella relazione generale, sono stati stralciati dal presente progetto, in quanto già oggetto di intervento da parte del comune di San Vito che ha ottenuto un finanziamento da parte della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile RAS per l'esecuzione di interventi volti a sistemare, consolidare e integrare le gabbionate realizzate a protezione del corpo stradale.

La presente relazione si rende necessaria per poter definire le portate di progetto e, quindi, eseguire un'adeguata modellazione idraulica atta alla scelta progettuale e conseguente dimensionamento delle opere. È utile sottolineare che i calcoli sono stati eseguiti con lo spirito di mitigare il rischio idraulico, in quanto risulta difficile eliminare totalmente la pericolosità idraulica nell'area di studio.

2. Inquadramento territoriale

Gli interventi in progetto ricadono interamente all'interno del comune di San Vito, nella provincia del Sud Sardegna, e più precisamente in prossimità della frazione di San Priamo.



Figura 1 - Inquadramento territoriale degli interventi

San Priamo sorge a circa 9-10 m sul livello del mare, dista 9,5 km dal comune di San Vito ed è costituito da 55 edifici per 130 persone residenti. A questi si aggiungono, ovviamente, altri edifici sparsi, generalmente per la conduzione delle attività agro-silvo-pastorali tipiche della zona.

Da un punto di vista cartografico, l'area di studio ricade interamente all'interno della sezione 558-030 "San Priamo" della Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000 predisposta dal Servizio Informativo e Cartografico della Regione Sardegna e nei fogli catastali 70.

3. Inquadramento vincolistico

Il quadro di riferimento vincolistico costituisce il punto di partenza della progettazione dell'intervento. Infatti attraverso l'analisi dei principali strumenti di pianificazione, sia a livello regionale che a livello nazionale, è possibile comprendere come l'opera da progettare si inserisce nel contesto della programmazione territoriale e settoriale, e verificare la coerenza dell'intervento con gli obiettivi prefissati da tali strumenti. Nel caso in esame, trattandosi della progettazione di un'opera idraulica, assumono fondamentale importanza i seguenti piani:

- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI),
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF),
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

3.1 Piano di Assetto Idrogeologico

Ai fini della difesa, della salvaguardia e del corretto sfruttamento del territorio, il PAI costituisce il documento di sintesi delle azioni promulgate dalla Pubblica Amministrazione (ai diversi livelli) e dagli Enti competenti nell'ambito della prevenzione del rischio idrogeologico. A tal proposito, si riporta brevemente il contesto normativo alla base della redazione dello stesso:

- D.lgs 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D.lgs 11.6.1998, n. 180, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla Legge 3.8.1998, n. 267;
- D.lgs 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;
- D.P.C.M. 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- L.R. 22.12.1989, n. 45, "Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale", e successive modifiche e integrazioni, tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9;
- altre disposizioni normative.

Nelle aree di pericolosità idraulica e di pericolosità da frana il PAI ha le finalità di garantire adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni.

Inoltre, il PAI è lo strumento attraverso il quale si deve:

- inibire le attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico e contrastare l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti;
- costituire le condizioni di base per avviare azioni di riqualificazione degli ambienti fluviali e di riqualificazione naturalistica o strutturale dei versanti in dissesto;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate.

Sulla scorta di quanto sopra, nel PAI sono riportati gli elementi per l'individuazione e la delimitazione delle aree con pericolosità idraulica e con pericolosità da frana ai diversi livelli, gli elementi per la rilevazione degli insediamenti, dei beni, degli interessi e delle attività vulnerabili nelle aree pericolose, e gli elementi per l'individuazione e la delimitazione delle aree a rischio idraulico e a rischio da frana ai diversi livelli.

Le Norme di Attuazione del PAI sono orientate sia verso la disciplina di politiche di prevenzione nelle aree di pericolosità idrogeologica allo scopo di bloccare la nascita di nuove situazioni di rischio, sia verso la disciplina del controllo delle situazioni di rischio esistenti nelle stesse aree pericolose allo scopo di non consentire l'incremento del rischio specifico, fino all'eliminazione o alla riduzione delle condizioni di rischio attuali.

In figura 2 viene riportato uno stralcio dell'ortofoto con le aree di pericolosità idraulica dell'area di interesse da cui emerge che sul tratto del rio Cannas e del rio Picocca su cui si dovrà operare ricade il vincolo Hi4, ovvero pericolosità molto elevata.



Figura 2 - Aree di pericolosità idraulica definite in ambito PAI

3.2 *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è stato redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale. Il PSFF trova specificazione nella direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni e nel Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che recepisce tale direttiva.

Il P.S.F.F. ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Inoltre, costituisce un approfondimento ed un'integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Per quanto riguarda le procedure di approvazione, si fa riferimento alla delibera n. 2 del 17.12.2015, che ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, per tutto il territorio regionale con l'individuazione di nuove aree di pericolosità idraulica e la modifica di altre precedentemente identificate dal PAI. Il Piano Stralcio individua le cosiddette fasce fluviali, dette anche aree di pertinenza fluviale, che identificano quelle aree limitrofe all'alveo inciso occupate nel tempo dalla naturale espansione delle piene, dallo sviluppo morfologico del corso d'acqua, dalla presenza di ecosistemi caratteristici degli ambienti fluviali.

L'area di interesse è ricompresa all'interno del sub-bacino 07 Flumendosa-Campidano-Cixerri e, come si evince dall'elaborato 7_1_3_3-CartaFasce, si trova nel sottobacino 18 - Minori tra il Flumendosa ed il Flumini Mannu.

In seguito allo studio del rio Picocca son state definite le fasce fluviali, riportate nell'elaborato 7_18_PI_2_0. Nella tavola PI003, riportata in figura 3, si osserva come l'intera area sia compresa nella fascia A_50, corrispondente alla pericolosità Hi4.

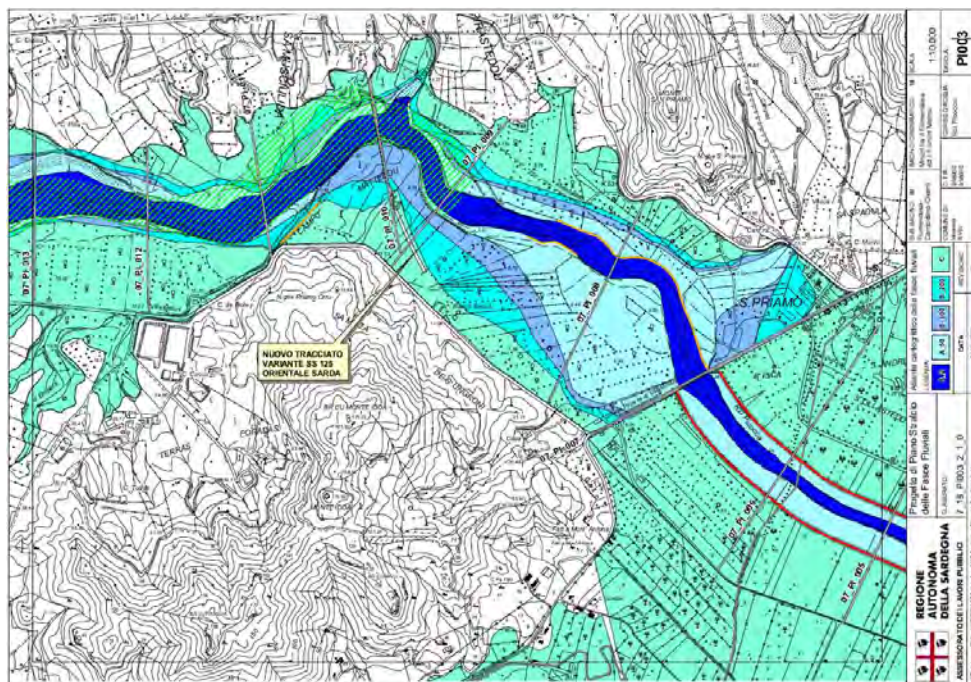


Figura 3 - Tavola PIU03 tratta dall'elaborato 7_18_PI_2_0 del PSFF

3.3 Adeguamento del PUC di San Vito al PAI

I commi 2 e 2bis dell'art. 8 delle NdA del PAI stabiliscono che: *“Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e alle inondazioni costiere, definiscono gli interventi di mitigazione e contengono anche le valutazioni afferenti agli studi dei bacini urbani di cui al comma 5 bis seguente.*

Gli studi comunali di assetto idrogeologico sono redatti, in ogni caso, in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti. Le conseguenti valutazioni, poste a corredo degli atti di piano costituiscono presupposto per verifiche di coerenza di cui all'articolo 31, comma 5 della legge regionale 22.04.2002, n.7 (legge finanziaria 2002). Il presente comma trova applicazione anche nel caso di variazioni agli strumenti urbanistici conseguenti all'approvazione di progetti ai sensi del DPR 18.4.1994, n. 383, “Regolamento recante disciplina dei procedimenti di localizzazione delle opere di interesse statale”.

Il comma 3 specifica ulteriormente che *“gli studi di cui al comma 2 analizzano le possibili alterazioni dei regimi idraulici e della stabilità dei versanti collegate alle nuove previsioni di uso del territorio, con particolare riguardo ai progetti di insediamenti residenziali, produttivi, di servizi, di infrastrutture.”*

Al momento della stesura della presente relazione il comune di San Vito non ha ancora provveduto a redigere gli studi di adeguamento del PUC al PAI, sebbene risulti che sia stato affidato l'incarico ad un RTP nel 08.2019.

3.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

In attuazione delle previsioni dell'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e dell'art. 13 del D.Lgs. 152/2006, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 1 del 30.07.2015 è stata adottata la "Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni" (di qui in poi PGRA) e la relativa documentazione per la Valutazione Ambientale Strategica, comprendente il Rapporto Ambientale, la Sintesi non tecnica e la Valutazione di incidenza ambientale.

Con successiva Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 2 del 30.07.2015 è stata approvata la proposta di variante al PAI costituita dall'integrazione del Titolo V alle N.A del PAI recante "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA)" così come riportato nell'allegato A alla presente deliberazione.

Le quattro classi di legenda utilizzate negli strumenti di pianificazione succitati (PAI, PSFF, studi ex art. 8 c.2 PAI e aree Cleopatra) sono state ricondotte alle tre classi individuate dal D.Lgs. 49/2010:

- P3 – Classe di pericolosità elevata, per eventi con tempo di ritorno minori o uguali a 50 anni;
- P2 – Classe di pericolosità media, per eventi con tempo di ritorno compresi tra 50 e 200 anni;
- P1 – Classe di pericolosità bassa, per eventi con tempo di ritorno compresi tra 200 e 500 anni.

Con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 del 15/03/2016 venne approvata la prima versione del PGRA e tutti gli elaborati costituenti (relazioni, mappe, repertori, scenari d'intervento strategico e coordinato, atlanti, manuali, documenti VAS).

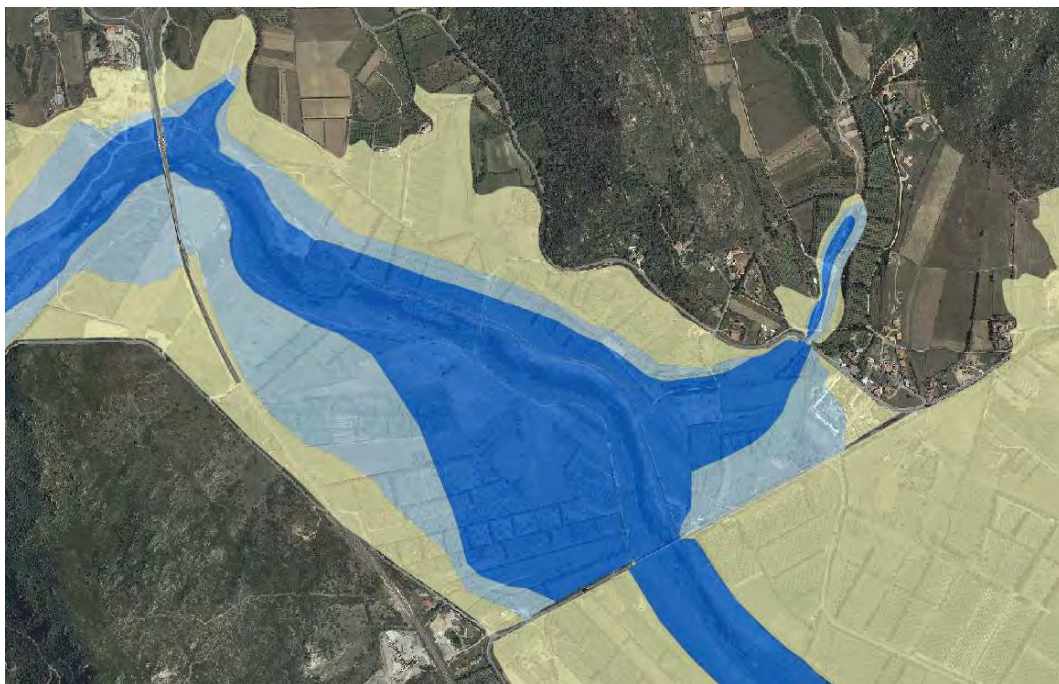


Figura 4 - Aree di pericolosità da PGRA

Come si può osservare in figura 4, il rio Picocca genera vaste aree di pericolosità P3 e P2.

3.5 *Piano Paesaggistico Regionale*

Il Piano Paesaggistico Regionale è stato approvato nel 2006 con Decreto del Presidente della Regione n. 82 del 7 settembre e nasce in seguito alla legge di tutela delle coste approvata dal Consiglio regionale nel 2004.

Il Piano identifica la fascia costiera come risorsa strategica e fondamentale per lo sviluppo sostenibile del territorio sardo e riconosce la necessità di ricorrere a forme di gestione integrata per garantire un corretto sviluppo in grado di salvaguardare la biodiversità, l'unicità e l'integrità degli ecosistemi, nonché la capacità di attrazione che suscita a livello turistico. Il territorio costiero è stato suddiviso in 27 ambiti omogenei catalogati tra aree di interesse paesaggistico, compromesse o degradate.

L'area di interesse ricade nell'ambito 25 – Bassa valle del Flumendosa, e più in particolare nella tavola A25_5581 (scala 1:25000):

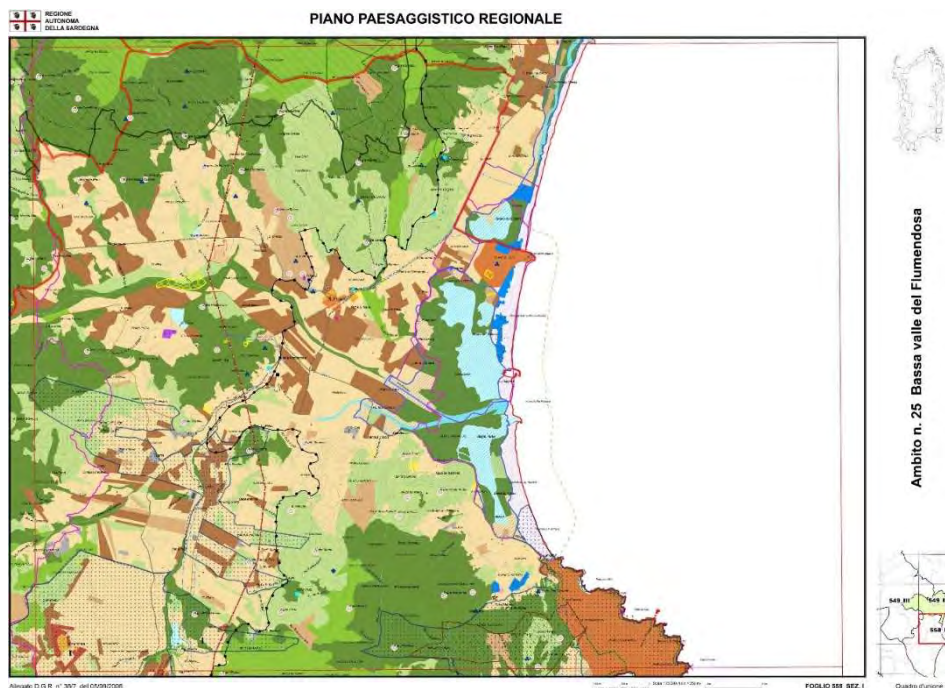


Figura 5 – Tavola A25_4481 del PPR

Gli elementi ambientali del sistema paesaggistico riconosciuti nell'area di interesse interna all'ambito 25 consistono nella fascia pedemontana di Muravera, la quale rappresenta una superficie a bassa pendenza che definisce la transizione tra la piana costiera alluvionale delle foci del Flumendosa e del Rio Picocca a sud, raccordando il settore orografico di Bruncu Riu Molas – Monti su Zippiri con la fascia di fondovalle e costiera;

Per quanto nell'ambito 25 vi siano numerosi elementi di interesse faunistico e paesaggistico, l'area ricade all'interno di quella che viene riconosciuta come fascia costiera ma non all'interno di aree di interesse naturalistico istituzionalmente tutelate.

3.6 Rete Natura 2000 e "Legge Quadro per le aree protette"

Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario.

La Rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC) che vengono poi definiti come Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS). L'ultima trasmissione della banca dati eseguita dall'Italia alla Commissione Europea è stata effettuata dal Ministero dell'Ambiente nel maggio del 2017.

Sul Geoportale Nazionale di Natura 2000 è possibile valutare la presenza di SIC nell'area di interesse. Di seguito si riporta uno stralcio preso dal Geoportale suddetto.



Figura 6 – Stralcio dal geoportale Nazionale Natura 2000

L'area oggetto dell'intervento non ricade all'interno né delle zone umide di importanza internazionale designate ai sensi della Convenzione di Ramsar, né in quelle ricomprese nell'elenco della Legge 6 dicembre 1991, n. 394, quali:

- Aree naturali protette: Aree marine protette, Aree marine protette internazionali, Monumenti naturali, Parchi nazionali, e Parchi regionali.
- Aree di interesse naturalistico: Siti di Interesse Comunitario (SIC – Direttiva 92/43/CEE), Zone di Protezione Speciale (ZPS – Direttiva 79/409/CE), Oasi permanenti di protezione faunistica, Aree di interesse faunistico, e Aree di interesse botanico.

3.7 Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs 42/04 e smi)

Il codice dei beni culturali e del paesaggio è un corpo organico di disposizioni, in materia di beni culturali e beni paesaggistici della Repubblica Italiana, emanato con il decreto legislativo del 22 gennaio 2004 n. 42. Gli obiettivi consistono nella tutela e valorizzazione che i soggetti (lo Stato, le Regioni, gli enti territoriali e qualsiasi altro soggetto) in possesso di un bene culturale o paesaggistico devono perseguire.

Sul Geoportale SITAP "Sistema Informativo Territoriale Ambiente e Paesaggio" è possibile valutare la presenza di beni culturali e/o paesaggistici in corrispondenza dall'area oggetto di indagine. Si riporta uno stralcio preso dal SITAP:

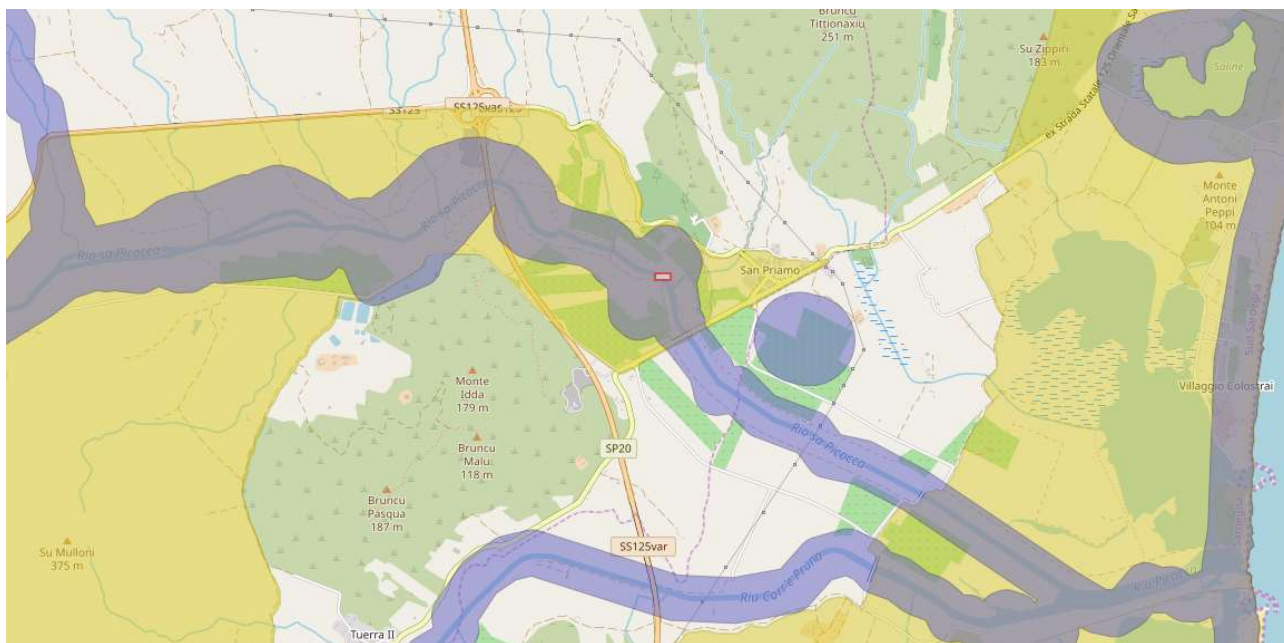


Figura 7 - Vincoli legati ai Beni Culturali (in viola le aree di rispetto coste e corpi idrici; in giallo i vincoli "decretati")

L'area in esame è soggetta ai seguenti vincoli, derivanti dal Codice per i beni culturali ed il paesaggio, per i quali è necessaria l'Autorizzazione Paesaggistica (artt. 136 e 142 del Codice):

1. Vincoli D.Lgs 42/2004, ex artt. 136 e 157 di natura statale, modificati dall'art. 2 del d.lgs. 63/2008, in giallo in figura 7;
2. Aree di rispetto di 150 metri dalle sponde dei fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle Acque Pubbliche, e di 300 metri dalla linea di battigia costiera del mare e dei laghi, vincolate ai sensi dell'art.142 c. 1 lett. a), b), c) del Codice, in viola in figura 7.

4. Informazione territoriale utilizzata

Per poter eseguire studi di natura idrologica e idraulica è necessario definire l'assetto del territorio, sfruttando varie fonti. A tal fine è stata utilizzata un'informazione territoriale che costituisce la sintesi delle informazioni provenienti dai rilievi eseguiti a diversa scala di dettaglio. In particolare, sono stati utilizzati:

- il DTM con passo a 10 m fornito dalla Regione Sardegna (foglio 558);
- il DTM con passo a 1 m fornito dal “Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare” (foglio 558, sezioni 030 e 070)
- il DTM con passo a 1 m delle fasce costiere (558030_09, _14, _19, _24)
- la cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000;
- i rilievi di dettaglio dell'alveo dei corsi d'acqua e degli attraversamenti presenti lungo il loro sviluppo.

L'elaborazione di tali informazioni, attraverso l'impiego di comuni procedimenti di interpolazione dei dati puntuali, ha consentito di ottenere un modello digitale di elevazione del terreno (DEM), con il quale è stato ricostruito l'andamento del terreno e la morfologia dell'alveo nella porzione di territorio individuata per la modellazione idraulica.

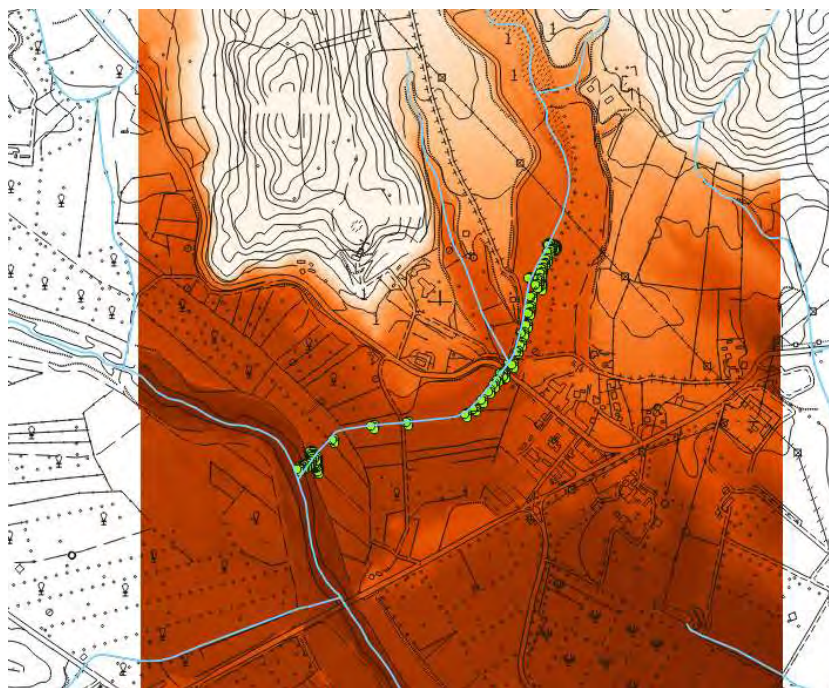


Figura 8 – DTM con passo 1 m dell'area, in verde i punti del rilievo, su base CTRN

5. Studio idrologico

5.1 Reticolo idrografico

L'idrografia dell'area in esame risulta ricompresa all'interno del bacino del rio Picocca.

Il reticolo idrografico dell'area oggetto di studio è molto complesso per via dell'elevato numero di affluenti e di canali, anche di natura artificiale, presenti nel territorio. Quelli di maggior interesse su cui si concentra il presente studio sono il rio Picocca e il suo affluente rio Cannas.

Il rio Picocca è situato nella provincia di Cagliari e drena le acque provenienti dal versante settentrionale del massiccio dei Sette Fratelli – Punta Serpeddì, e di quello meridionale del Monte Genis. Esso nasce dall'unione del rio Ollastu con il rio Cannas (diverso da quello oggetto di studio) e scorre prevalentemente da ovest verso est per poi sfociare a mare in corrispondenza dello stagno dei Colostrai. Il tratto compreso tra il guado in località Casa Cantoniera Campuomu e lo sbocco a mare è classificato come asta principale ed è stato pertanto oggetto delle analisi seguenti.

Il rio Cannas è un affluente in riva sinistra del rio Picocca che trova origine dal costone est / sud-est dei rilievi di Baccu Arroddas ed ha un carattere prevalentemente torrentizio, essendo generalmente in secca durante l'anno per poi mostrare importanti deflussi in seguito alle precipitazioni con trasporto anche di materiale solido.

In figura si riporta il reticolo idrografico proprio del bacino del rio Picocca, con in evidenza i rii di interesse ai fini del presente studio idrologico e idraulico.

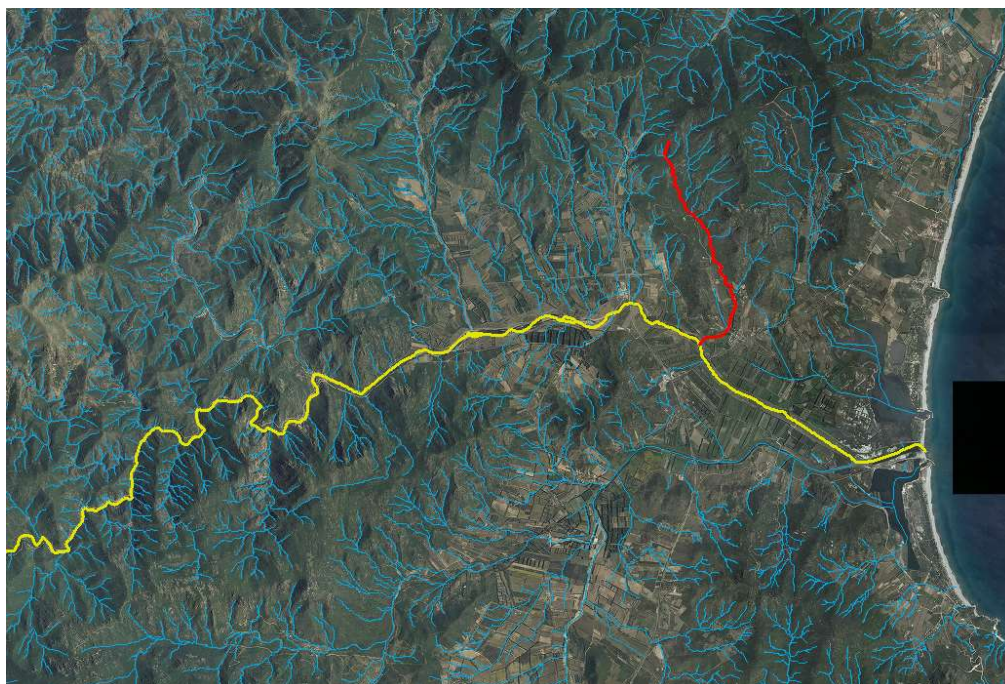


Figura 9 - Reticolo idrografico nell'area di interesse - in giallo il rio Picocca e in rosso il rio Cannas

5.2 Rio Picocca

Per la definizione dei bacini si è proceduto preliminarmente all'individuazione dell'asta principale del rio Picocca e alla suddivisione in tronchi fluviali. Il termine di ognuno di essi costituisce la sezione di chiusura di un sottobacino del rio Picocca, la cui suddivisione si è resa necessaria per via delle notevoli lunghezze del corso d'acqua, così da determinare portate differenti lungo il loro sviluppo longitudinale e rendere più verosimile la modellazione.

L'analisi idrologica e geomorfologica condotta nel PSFF prevede una suddivisione del bacino del rio Picocca in 11 sottobacini, riportati nella figura seguente:



Figura 10 - "Figura 38 - Suddivisione in sottobacini del rio Picocca" dall'elaborato 7_18_1_1_2_Rel-Monografia del PSFF

Il punto di maggiore interesse ai fini del presente studio ricade all'interno dell'ultimo sottobacino, più o meno al centro tra le sezioni di chiusura L e M, in prossimità della località San Priamo dove sfocia il rio Cannas sul Picocca.

In questo tratto, detto vallivo, il corso d'acqua attraversa con debole pendenza la piana di San Priamo, dove per l'ampiezza del suo letto, assume l'aspetto di una vera e propria fiumara. A protezione dell'abitato di San Priamo sono stati eseguiti interventi di sistemazione mediante l'allargamento della sezione di deflusso, nel tratto a valle del nuovo ponte-viadotto della S.S. 125 (sez. 07_PI_010), e realizzazione di difese di sponda longitudinali in sinistra con gabbioni in pietra.

Per i vari sottobacini sono state definite le caratteristiche geografiche, fisiografiche e morfometriche, ovvero la superficie del bacino S , l'altitudine massima H_{max} , media H_m e minima H_{min} , la lunghezza dell'asta

fluviale L e la pendenza media dell'asta medesima. Di seguito si riportano i valori della tabella 45 della relazione sopra citata.

Sezione	S	Hmin	Hm	Hmax	L	i
	[km ²]	[m slm]	[m slm]	[m slm]	[km]	[m/m]
A	20.4	377	1016	697	7.5	0.09
B	24.2	318	1016	667	9.0	0.08
C	28.6	310	1016	663	9.6	0.07
D	33.2	309	1016	663	13.9	0.06
E	39.0	170	1016	593	16.2	0.06
F	56.6	160	1016	588	16.7	0.06
G	64.0	130	1016	573	19.0	0.06
H	69.9	83	1016	550	21.2	0.06
I	190.0	45	1016	545	21.8	0.06
L	215.7	13	1016	514	26.9	0.06
M	238.9	3	1016	509	32.0	0.06

Tabella 1 - "Tabella 45 – Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini del riu Picocca" dall'elaborato 7_18_1_1_2_Rel-Monografia del PSFF

Note le caratteristiche dei sottobacini è ora possibile calcolare le portate di piena per i vari tempi di ritorno. Questo può essere fatto mediante due diversi metodi: quello diretto è generalmente utilizzato per bacini con superficie maggiore di 60 km²; quello indiretto per i bacini di minore estensione.

Come già detto in precedenza, l'area di intervento ricade nell'ultimo bacino per cui la definizione della portata del rio Picocca nella sezione di interesse deve essere determinata sulla base del metodo diretto. Tale procedura si basa sulla distribuzione TCEV (Two Components Extrem Values). Considerata la posizione del bacino in esame, sul versante orientale, i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate risultano:

$$\theta^* = 5,8866$$

$$\Lambda^* = 0,3938$$

$$\Lambda_1 = 4,571$$

$$\eta = 4,058$$

mentre i valori di KT, coefficiente probabilistico di crescita, per i tempi di ritorno di interesse, sono:

Tr	2	50	100	200	500
KT	0,63	4,68	5,70	6,71	8,04

Tabella 2 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT

Valutato il parametro modale ϵ_1 secondo la relazione " $\ln \epsilon_1 = 0,9882 + 0,6452 \ln S$ ", si ottengono i valori di portata riportati nella tabella seguente (si riportano solo i valori dei bacini I, L e M perché il PSFF prevede per gli altri l'utilizzo del metodo indiretto):

Sezione	S	Q(T2)	Q(T50)	Q(T100)	Q(T200)	Q(T500)
	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
I	190.0	133	991	120	1420	1700
L	215.7	145	1080	1310	1540	1850
M	238.9	155	1150	1400	1650	1970

Tabella 3 - Valori presi da "Tabella 50 - Portate al colmo riu Picocca per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo diretto"

5.3 Rio Cannas

Sulla base del modello digitale del suolo, come descritto, è stato possibile definire le caratteristiche geometriche e geomorfologiche principali del bacino del rio Cannas necessarie per lo studio idrologico e idraulico.

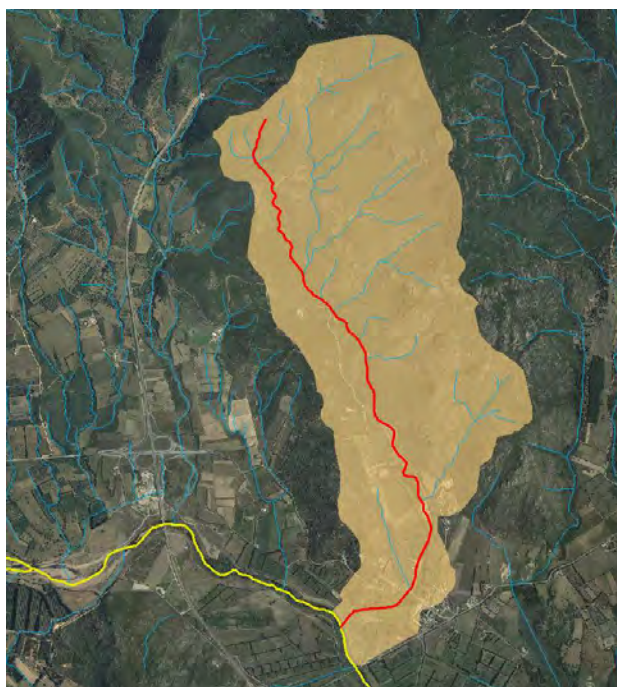


Figura 11 - Bacino del rio Cannas

Più precisamente si sono determinati i seguenti parametri:

- Area del bacino imbrifero $A = 4,88 \text{ km}^2$;
- Lunghezza dell'asta del rio Cannas $L = 4,42 \text{ km}$;

- Quota massimo del bacino $H_{\max} = 202,40$ m slm;
- Quota media del bacino $H_m = 49,82$ m slm;
- Quota minima del bacino $H_{\min} = 7,39$ m slm;
- Pendenza media del bacino $i_b = 32,69$ %;
- Pendenza media dell'asta del rio Cannas $i_m = 2,77$ %;
- CN (AMCIII) = 82,89.

Note le caratteristiche geomorfologiche del bacino del rio Cannas e i parametri caratterizzanti l'asta fluviale, è possibile calcolare il tempo di corrivazione del suddetto bacino.

Da un punto di vista teorico esso è il tempo che impiega la particella caduta nel punto idraulicamente più lontano per arrivare alla sezione di chiusura del bacino. Se da un punto di vista concettuale è facile capire la natura di questa grandezza, risulta più complicato individuare una relazione univoca che ne permetta il calcolo.

In letteratura sono presenti numerose relazioni empiriche, frutto di semplificazioni e osservazioni di bacini esistenti. A seconda del caso oggetto di studio, quindi, sarà necessario eseguire un'adeguata cernita delle formulazioni proposte e scegliere quella che più si adatta alle caratteristiche del bacino e dell'asta.

Di seguito si farà una rapida disamina delle formule più utilizzate e diffuse.

- Ventura: $t_c = 0.1272 \left(\frac{A}{i_m} \right)^{0.5}$
- Pezzoli: $t_c = 0.055 \frac{L}{i_m^{0.5}}$
- Viparelli: $t_c = \frac{L}{v}$
- VAPI: $t_c = 0.212 A^{0.231} \left(\frac{h_m}{i_m} \right)^{0.289}$
- Puglisi: $t_c = 6 \frac{L^{2/3}}{(h_{\max} - h_{\min})^{1/3}}$
- Tournon: $t_c = 0.396 * \frac{L}{i_m^{0.5}} \left(\frac{A}{L^2} * \sqrt{\frac{i_m}{i_b}} \right)^{0.72}$
- Giandotti: $t_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8(h_m - h_{\min})^{0.5}}$
- Pasini: $t_c = 0.108 \frac{(AL)^{1/3}}{i_m^{0.5}}$
- SCS: $t_c = 0.00227 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} i_b^{-0.5}$
- Kirpich $t_c = 0.095 \frac{L_a^{1.155}}{(z_{\max} - z_{\min})^{0.385}}$

- Ventura: il campo di impiego riguarda principalmente bacini pianeggianti di modeste dimensioni;
- Pezzoli: l'analisi ha riguardato un campione di piccoli bacini ricadenti in Piemonte;

- Viparelli: il principio alla base è quello di considerare le isocorrive coincidenti con le isoipse e conseguentemente ammettere che la distanza percorsa dalla goccia sia sostanzialmente legata alla differenza di quota tra i punti del bacino e la quota della sezione di chiusura. L'ipotesi di base è tanto più vera quanto maggiore è la circolarità del bacino esaminato;
- VAPI: come specificato nelle Linee Guida del PSFF il metodo non va bene per bacini con area minore di 50 km²;
- Puglisi: è stato determinato dall'esame di bacini appenninici con superfici tra i 43 e i 94 Km²;
- Tournon: il campione osservato, e conseguentemente il campo di applicazione riguarda bacini con estensioni comprese tra 30 e 170 e Km²;
- Metodo di Giandotti: è indicato per bacini collinari con estensione maggiore ai 170 Km²;
- Metodo di Giandotti ridotto: può essere utilizzato anche per bacini di estensione minore;
- Metodo di Pasini: il metodo è applicato su bacini di pianura delle dimensioni di qualche km²;
- Metodo SCS: si basa sulla determinazione del curve number;
- Metodo di Kirpich: la formula è stata sviluppata per piccoli bacini pianeggianti di estensione inferiore ai 10 km² in Tennessee e Pennsylvania.

Poiché ogni metodo ha un suo campo di applicazione e prevede dei parametri differenti, si è scelto di utilizzare quello del Soil Conservation Service in quanto risulta essere sempre applicabile e tiene conto della permeabilità del suolo mediante il termine CN (per il cui calcolo si rimanda alle pagine successive), della pendenza media del bacino e della lunghezza dell'asta principale andando quindi a compensare differenti aspetti caratteristici dei bacini.

	Ventura	Pezzoli	Viparelli (v=1,5 m/s)	VAPI	Puglisi	Tournon	Giandotti ridotto	Pasini	SCS	Kirpich
tc [ore]	1.69	1.46	0.82	2.66	2.79	1.59	2.74	1.81	0.72	0.32

Tabella 4 – Calcolo del tempo di corrivazione del bacino del rio Cannas

Il tempo di corrivazione è un parametro fondamentale per la determinazione delle portate di piena, in quanto ci permette di individuare il tempo di pioggia per il quale l'intero bacino andrà a contribuire al deflusso nella sezione di chiusura di interesse. Non essendo presenti strumenti atti alla misura delle portate in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino sarà necessario utilizzare il metodo indiretto ovvero un modello afflussi-deflussi.

Il calcolo delle altezze di precipitazione è stato eseguito mediante le Curve di Possibilità Pluviometrica estratte dalla distribuzione TCEV regionalizzata di Deidda, Piga e Sechi del 2000. Tale metodo prevede la suddivisione della Sardegna in 3 sottozone omogenee (SZO) e nell'individuazione della cosiddetta pioggia indice giornaliera H_g (figura 12), ossia la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera, in funzione della posizione del sito in esame.

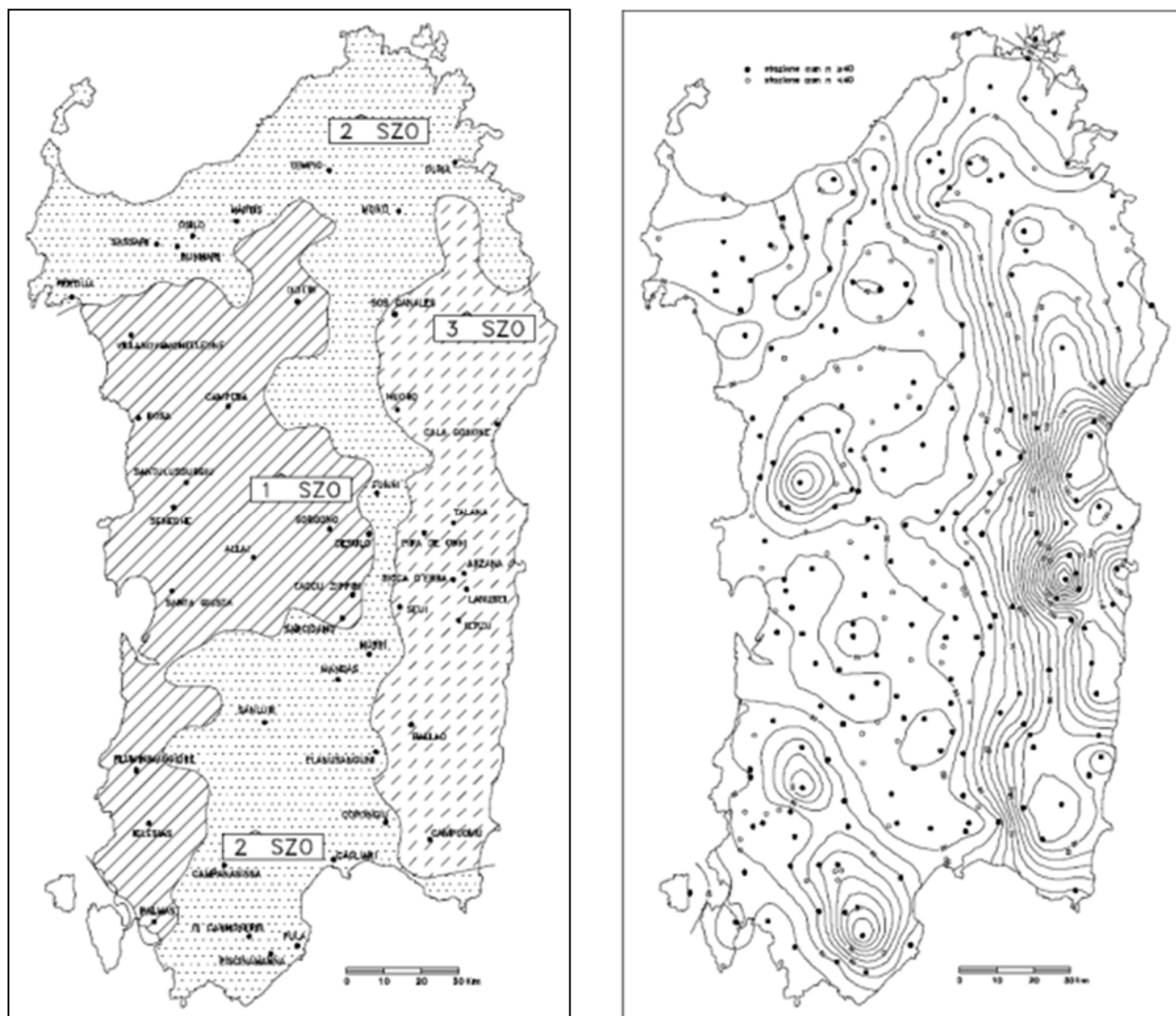


Figura 12 – Suddivisione della Sardegna in SottoZone Omogenee e Carta della pioggia indice giornaliera

A partire da questi parametri, dalla durata della precipitazione e dai tempi di ritorno di interesse (50, 100, 200, 500 anni), si possono calcolare le altezze di precipitazione lorde di progetto mediante le seguenti relazioni:

$$h_{Tr}(t) = H_m(t_p) * at_p^n$$

nella quale:

$$H_m(t_p) = 1.1287 H_g(t_p/24)^{-0.493+0.476*\log(H_g)}$$

con H_g dipendente dalla posizione geografica del bacino, e i parametri a ed n dalla sottozona SZO di appartenenza e dal tempo di ritorno.

per la sottozona I:

$$a = 0.4642 + 1.0376 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.18488 + 0.22960 * \text{Log}(Tr) - 0.033216 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.01469 - 0.0078505 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona II:

$$a = 0.43797 + 1.089 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.18722 + 0.24862 * \text{Log}(Tr) - 0.0336305 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.0063887 - 0.004542 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona III:

$$a = 0.40926 + 1.1441 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.1906 + 0.264438 * \text{Log}(Tr) - 0.038969 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = 0.014929 + 0.0071973 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

L'area oggetto di studio ricade nella SZO 3 ed è caratterizzata da una pioggia indice H_g pari a 80 mm da cui ne deriva $H_m(t_c) = 21,20$ mm.

Tr	[anni]	50	100	200	500
a		2.353	2.697	3.042	3.497
n	[-]	0.146	0.182	0.212	0.239
hTr(tc)	[mm]	47.52	53.83	60.11	68.48

Tabella 5 – Calcolo dell'altezza di precipitazione lorda

A partire dalle altezze di precipitazione lorde, si devono calcolare quelle nette in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo della zona. Per far ciò è stato usato il metodo del Curve Number (CN) proposto dal Soil Conservation Service, il quale consiste nell'attribuire ad ogni categoria di uso del suolo un certo valore del CN (come previsto dalle Metodologie di Analisi previste per gli "studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)") così da determinare la capacità di accumulo del terreno, ovvero di deflusso del suolo.

In primo luogo, è stata caricata su GIS la carta del Curve Number pubblicata dal Dipartimento Geologico dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna (ARPAS) in cui sono riportati i CN delle quattro classi di suolo in base alla capacità di assorbimento (tipi idrologici A, B, C e D) a seconda dell'uso a cui sono destinati. Il bacino si trova in un'area caratterizzata principalmente da "depositi terrigeni continentali di conoide e piana alluvionale (ghiaie, sabbie, limi e argille) formati da conglomerati, arenarie, siltiti e peliti", e in parte da "leucograniti, leucomicrograniti, graniti s.l., leucosienograniti, microsienograniti, sienograniti", per cui si osservano in particolar modo i tipi idrologici A e D.

A questo punto si sono determinate le aree destinate ai vari usi del suolo, e si è associato ad ognuno di essi il rispettivo CN. Quindi, è stata fatta una media ponderata dei CN rispetto alle aree, così da ottenere un valore caratteristico del bacino. Il valore ottenuto rappresenta quello di CN relativo ad una condizione media di umidità antecedente (AMC) in funzione della precipitazione dei 5 giorni precedenti l'evento in studio, detto CN (II), ed è pari a 67,81.

COD_NUMBER	UDSDESC	USO	A	B	C	D	CN	Area [mq]
CN_A	VIGNETI	221	66	74	80	82	66	27609.75
CN_A	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	62	71	78	81	62	33322.89
CN_A	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	62	71	78	81	62	1.88E-05
CN_A	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	62	71	78	81	62	116575.63
CN_C	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	62	71	78	81	78	1754.03
CN_A	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	64	73	79	82	64	142030.59
CN_A	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	64	73	79	82	64	206783.33
CN_C	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	64	73	79	82	79	1000.89
CN_A	AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	64	73	79	82	64	34512.73
CN_C	AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	64	73	79	82	79	20228.32
CN_C	AREE CON VEGETAZIONE RADA >5% E <40%	333	63	77	85	88	85	52401.74
CN_C	AREE CON VEGETAZIONE RADA >5% E <40%	333	63	77	85	88	85	21872.59
CN_C	AREE CON VEGETAZIONE RADA >5% E <40%	333	63	77	85	88	85	44389.35
CN_A	TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	1121	61	75	83	87	61	27692.26
CN_A	FABBRICATI RURALI	1122	59	74	82	86	59	165.83
CN_C	FABBRICATI RURALI	1122	59	74	82	86	82	31255.46
CN_A	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	61	73	81	84	61	10084.54
CN_A	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	61	73	81	84	61	38723.23
CN_A	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	61	73	81	84	61	0.24
CN_D	BOSCO DI LATIFOGIE	3111	36	60	73	79	79	197990.87

CN_A	BOSCO DI CONIFERE	3121	45	66	77	83	45	21564.27
CN_C	BOSCO DI CONIFERE	3121	45	66	77	83	77	166205.19
CN_A	FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	35	56	70	77	35	20624.64
CN_D	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	77	222542.26
CN_D	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	77	65.62
CN_A	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	35	68465.14
CN_C	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	70	169282.97
CN_C	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	70	27467.54
CN_D	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	35	56	70	77	77	10814.78
CN_A	GARIGA	3232	35	56	70	77	35	365526.91
CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	409119.05
CN_C	GARIGA	3232	35	56	70	77	70	2362309.90
CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	6507.69
CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	7887.66
CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	6509.17
CN_D	GARIGA	3232	35	56	70	77	77	12186.48

Tabella 6 – Distribuzione del CN all'interno del bacino del rio Cannas

A favore di sicurezza si è posta, infine, una condizione sfavorevole di umidità, per cui si è utilizzato il CN (III):

$$CN (III) = \frac{23 \text{ CN } (II)}{10 + 0.13 \text{ CN } (II)} = 82,89$$

Noto il valore del Curve Number si può calcolare lo Storage S, ossia il volume di acqua che il terreno è in grado di immagazzinare al proprio interno, e l'Initial Abstraction I_a , ovvero la quota parte di acqua persa per intercezione:

$$S = \frac{25400 - 254 \text{ CN}}{\text{CN}}$$

$$I_a = 0.2 S$$

Il valore del curve number permette di fare delle valutazioni relativamente alle perdite delle precipitazioni dovute ad infiltrazione e intercezione. Per calcolare la precipitazione netta che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale si utilizza la seguente relazione

$$P_N = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove P è la precipitazione cumulata e P_N rappresenta la pioggia netta cumulata.

Tr	50	100	200	500	
hTr(tc)	47.52	53.83	60.11	68.48	mm
hNTr	15.33	19.61	24.13	30.46	mm
φ	0.32	0.36	0.40	0.44	

Tabella 7 - Altezze di pioggia nette

Dalla tabella 8 si osserva come il coefficiente di deflusso ϕ sia basso anche per i tempi di ritorno più elevati. A parere dello scrivente, valori del genere risultano essere non verosimili alla luce di eventi pregressi e di esperienze maturate anche su bacini con caratteristiche non dissimili da quelle del bacino del rio Cannas.

A tal uopo si è scelto di rifare i calcoli considerando la totalità del bacino nel tipo idrologico D ovvero a permeabilità molto bassa. Con questa assunzione, si ottiene un CN(II) pari a 78 che modifica tutte le grandezze precedentemente calcolate.

CN(II)	78	
CN(III)	89	
tc	0.58	ore
Hg	80	mm
Hm (tc)	19.35	mm

Tr	50	100	200	500	anni
a	2.353	2.697	3.042	3.497	
n	0.146	0.182	0.212	0.239	
hTr(tc)	42.01	47.20	52.38	59.30	mm
hNTr	19.02	23.16	27.42	33.31	mm
φ	0.45	0.49	0.52	0.56	-

Tabella 8 – Flusso di calcolo nelle condizioni del suolo di tipo D

Una volta definiti gli afflussi meteorici e la quota parte contribuyente alla formazione dei deflussi, si può calcolare la portata al colmo mediante la formula razionale, secondo cui

$$Q_{Tr} = \frac{r h_{NTr} A}{t_c}$$

dove r è un fattore di riduzione areale (ARF) posto pari a 1 a favore di sicurezza, h_{NTr} è l'altezza di precipitazione netta, A è la superficie del bacino e t_c è il tempo di concentrazione. Tale relazione è valida sotto le seguenti ipotesi semplificative:

- una generica goccia d'acqua che cade in un generico punto del bacino, segue sempre e comunque una traiettoria del tutto autonoma, fino a quando non confluisce nella sezione terminale, contribuendo alla portata di deflusso insieme alle altre generiche gocce d'acqua mediante il principio di sovrapposizione degli effetti;
- ogni particella viaggia con velocità propria del tutto indipendente dal moto delle altre particelle liquide, come se fosse la sola presente nel bacino;
- le precipitazioni di carattere piovoso sono costanti nelle due dimensioni tempo e spazio.

I parametri calcolati nei paragrafi precedenti consentono la valutazione della portata di piena con i tempi di ritorno in linea con le prescrizioni del PAI, ovvero per 50, 100, 200 e 500 anni, i cui valori vengono riportati in tabella 9

Tr [anni]	50	100	200	500
Q [m ³ /s]	44.79	54.54	64.59	78.44

Tabella 9 - Valori delle portate di progetto per i diversi tempi di ritorno

6. Studio idraulico - stato attuale

Prima di iniziare la disamina dello studio idraulico risulta opportuno specificare che la modellazione idraulica è stata condotta sia sul rio Cannas che sul rio Picocca, nonostante sia stato già studiato in ambito PSFF, così da valutare gli effetti della simultaneità delle piene.

6.1 Il codice di calcolo HEC-RAS

HEC RAS è un codice sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua sia in regime di moto permanente che in regime di moto vario mediante l'equazione del flusso monodimensionale.

Per l'analisi del moto HEC RAS impone di fissare la portata su ogni ramo della rete e di definire per ogni ramo le condizioni al contorno di monte (indispensabile per il profilo coniugato di corrente veloce) e di valle (indispensabile per il profilo coniugato di corrente lenta). Il programma permette di dedurre il solo profilo coniugato di corrente lenta, il solo regime di corrente veloce ovvero di determinare autonomamente il profilo della corrente in regime misto utilizzando e raccordando entrambi i profili coniugati (metodo utilizzato nella modellazione). Le condizioni al contorno sono sinteticamente riconducibili a due tipi: altezza nota del pelo libero (critica, di moto uniforme, nota o imposta in corrispondenza di particolari condizioni) oppure conoscenza della velocità media in sezione.

Il software prevede un tool di risoluzione ed un editor per la geometria delle sezioni molto raffinati. È infatti possibile introdurre con un notevole grado di precisione gli elementi geometrici di dettaglio quali ponti, tombinature, luci a battente, guadi, confluenze, argini, casse di espansione, salti di fondo, briglie e qualunque manufatto in genere.

HEC-RAS dispone di una funzione di interpolazione geometrica delle sezioni rilevate che risulta certamente di grande utilità, soprattutto nei tratti in cui la definizione della geometria non sia sufficientemente dettagliata, al fine di evitare che vengano valutate forti perdite di energia per bruschi cambiamenti di sezione che nella realtà potrebbero essere gradualmente e non immediati come può accadere tra due sezioni non interpolate.

6.2 Base teorica della verifica idraulica

Il moto permanente o stazionario nei corsi d'acqua è definito quando in ogni punto della massa fluida in movimento le grandezze idrauliche non variano nel tempo. Il profilo idraulico viene determinato tra una sezione e la successiva applicando l'equazione dell'energia tra le due sezioni.

$$H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} = H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} + h_e$$

- H tirante idrico nella sezione;
- V velocità media nella sezione;
- g accelerazione gravitazionale;
- α_1 coefficiente di ponderazione delle velocità
- h_e perdita di energia tra le due sezioni esprimibile come

$$h_e = L \times J + C \times \left| \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right|$$

in cui L è la distanza tra le sezioni, J è la cadente idraulica ricavabile dalla formula di Chezy, C è il coefficiente di perdita per espansione o contrazione di sezione.

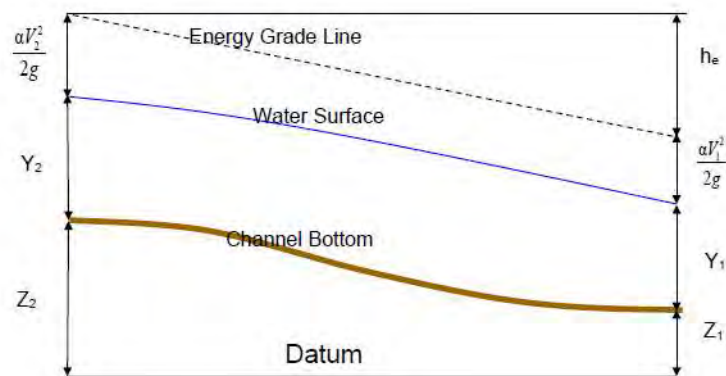


Figura 13 - Schematizzazione grafica della variazione dell'energia di una corrente idraulica

L'equazione dell'energia sopra descritta è applicabile solo per condizioni di moto gradualmente vario e non quando avvenga il passaggio da corrente lenta a veloce o viceversa allorché per esempio si abbia una significativa variazione di pendenza del fondo alveo oppure un cambio di sezione dovuto alla presenza di ponti o manufatti, salti di fondo, confluente. Senza entrare nel dettaglio teorico ci si limita a dire che in tali situazioni occorre applicare l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Il profilo della corrente sarà valutato considerando il moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che solitamente presenta variazioni di portata nel tempo, si avranno delle differenze. Tuttavia, l'involuppo dei massimi livelli idrici riscontrabili in un transitorio di portata variabile non è, in generale, superiore ai livelli idrici riscontrabili in moto permanente.

6.3 *Modello idraulico*

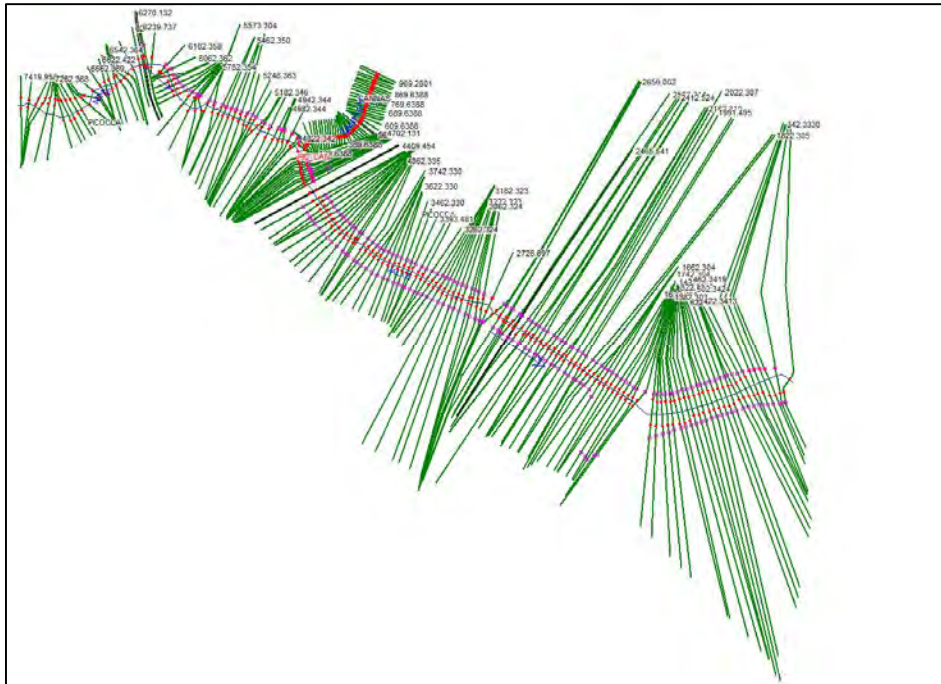
6.3.1 - Geometria

La prima fase prevede la generazione di un modello georeferenziato della rete idrica da studiare. Questo è possibile mediante l'utilizzo di supporti quali le Carte Tecniche Regionali (CTR) con scala 1:10.000 e, soprattutto, il modello del suolo generato in precedenza e descritto al punto 4. Quest'ultimo svolge un ruolo fondamentale nella modellazione perché permette uno studio tridimensionale del modello, ovvero di attribuire una quota agli elementi facenti parte del modello medesimo.

Mediante gli strumenti in ambiente GIS è possibile individuare i vari elementi costituenti il modello idraulico:

- river – il tracciato dell'asta fluviale;
- bank lines – le linee di separazione tra l'alveo e il resto della sezione;
- flowpaths – l'area all'interno della quale ci si aspetta avvenga il deflusso;
- XS cutlines – le sezioni trasversali al corso d'acqua che permettono di definire la geometria dell'alveo e della zona limitrofa. Queste vengono editate dall'utente e, attraverso un comando del software, vengono collegate al DTM cosicché ogni punto della sezione abbia associata una quota. Particolare attenzione va posta nella metodologia con la quale si tracciano le sezioni, in quanto devono permettere la valutazione di tutte le apprezzabili modifiche del corso d'acqua (sia la forma dell'alveo che la direzione del corso d'acqua) e la modellazione delle opere di attraversamento che si trovano lungo il suo sviluppo longitudinale. Per questo motivo le sezioni non devono essere troppo lontane tra loro, e devono essere tracciate laddove sono presenti punti singolari, quali i ponti.

Il modello generato in ambiente Gis viene, quindi, esportato su HEC-RAS così da poter effettuare l'analisi idraulica sulla base delle portate calcolate in precedenza.



Quanto fatto su GIS permette una definizione della geometria ottima ma non definitiva, in quanto risultano necessarie diverse integrazioni relativamente agli argini (levees) e alle opere di attraversamento (bridges e culverts).

Gli argini sono stati individuati sezione per sezione in funzione della loro altimetria, così da evitare che il flusso si spandesse sull'intera estensione della sezione, andando a generare risultati non verosimili in termini di aree di esondazione e di velocità della corrente.

Per quanto riguarda le opere di attraversamento, si è resa necessaria una campagna di rilievi in sito col fine di valutare la posizione precisa degli stessi, reso possibile mediante l'utilizzo di un sistema GPS, e le loro dimensioni.



Figura 15 - Attraversamento della SS 125 sul rio Cannas (foto del 07.11.2019)

6.3.2 - Parametri di scabrezza

Il profilo della corrente è stato valutato considerando il moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, esistono delle differenze di comportamento. Tuttavia, è riscontrato che l'involuppo dei massimi livelli idrici che si verificano in un transitorio non presenta in generale valori significativamente differenti da quelli riscontrabili in moto permanente.

Le perdite di carico distribuite sono valutate mediante la formula di Manning (n), assegnato per ciascuna sezione attraverso il confronto critico del valore calcolato tramite il metodo del U.S. Soil Conservation Service con il valore desunto dalla letteratura di settore, anche in considerazione del diversificato grado di antropizzazione delle aree di studio.

In particolare, sono stati assegnati i seguenti valori del coefficiente di Manning n :

- in alveo si è assunto un valore di n pari a 0.035 in quanto è presente vegetazione formata da canneti, macchia ed alberi ad alto fusto (eucaliptus principalmente), persino nel tratto regimato di monte



Figura 16 - Foto scattata all'interno del tratto di monte del rio Cannas il 07.11.2019

- nelle fasce laterali (lob e rob) esterne all'alveo si è assunto un n pari a 0.045 per tener conto della vegetazione e dei vari altri ostacoli che le acque possono trovare.

6.3.3 - Condizioni al contorno

La prima condizione al contorno da inserire è quella relativa alle portate per i vari tempi di ritorno, ad ognuno dei quali corrisponderà un profilo diverso.

Quindi, son state definite le "reach boundary conditions" che rappresentano le condizioni al contorno del flusso. I parametri da definire cambiano, ovviamente, a seconda che il moto sia in condizioni sub-critiche o super-critiche.

Essendo difficile attribuire aprioristicamente il tipo di corrente che si andrà ad instaurare nei rii Cannas e Picocca, si è scelto di imporre un regime del tipo misto definendo delle condizioni al contorno sia da monte che da valle.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno del rio Picocca:

- ➔ condizione di monte pari all'altezza critica, ovvero quel tirante tale per cui si manifesta il passaggio da corrente veloce a corrente lenta e viceversa;
- ➔ condizione di valle pari all'altezza idrica nota in corrispondenza della foce, in prossimità del villaggio Collostrai, che può essere calcolata come la somma della marea astronomica, della variazione del

livello dovuta alle condizioni di tempesta (storm surge) e del sovrizzo dovuto al frangimento (wave setup), ed è pari a 1,80 m, come previsto dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno del rio Cannas:

- ➔ condizione di monte pari all'altezza critica;
- ➔ condizione di valle pari all'altezza idrica nota del rio Picocca in corrispondenza della confluenza del rio Cannas.

6.4 *Risultati dell'analisi idraulica*

Una volta terminata la definizione della geometria e del flusso, si può procedere con la fase di elaborazione vera e propria che permette di individuare le insufficienze delle varie sezioni, e quindi le esondazioni per ogni tempo di ritorno.

Questi risultati vengono esportati in ambiente GIS cosicché possano essere definite le aree di pericolosità idraulica Hi4, Hi3, Hi2, Hi1 relative ai tempi di ritorno di 50 anni, 100 anni, 200 anni e 500 anni.

L'importazione della modellazione svolta su HEC-RAS permette di ottenere i punti "Water Surface Extents", ossia i punti della sezione coincidenti con gli estremi del pelo libero. Ancor più importante risulta la definizione delle aree di esondazione sulla base delle quote del DTM, infatti è possibile generare dei poligoni luogo dei punti la cui quota geodetica sta al di sotto della quota del pelo libero calcolata su HEC-RAS.

Le aree di esondazione sono riportate nelle tavole allegate al progetto.

Come si può osservare negli elaborati allegati alla presente relazione, le sezioni mostrano importanti insufficienze idrauliche e conseguenti diffusi allagamenti. Per questo motivo si rende necessario definire delle soluzioni progettuali atte alla riduzione della pericolosità idraulica.

7. Interventi in progetto

In seguito a diversi allagamenti dell'area compresa tra San Priamo e l'argine in sinistra del rio Picocca, l'ARPAS ha individuato una serie di interventi atti alla mitigazione del rischio e della pericolosità idraulica oggetto della convenzione con questo Consorzio, consistenti in:

- adeguamento della esigua sezione idraulica del rio Cannas, ai parametri di calcolo idraulico oggi vigenti in dipendenza del PSFF, nel tratto compreso tra il ponte sulla ex SS 125 e lo sfocio sul rio Picocca;
- realizzazione nello sfocio sul rio Picocca di una chiavica multiparatoia, antireflusso, a protezione dell'abitato di San Priamo, in occasione degli eventi di piena del rio Picocca;
- esecuzione argine a tergo gabbioni, al fine di consolidarne la stabilità, creare una barriera idraulica e contestualmente una via d'accesso alla chiavica in momenti di criticità ambientale.

Inoltre, si prescrive, ove possibile, di realizzare gli elementi strutturali di governo idraulico essenzialmente in gabbioni e mantellate utilizzando ciottoli provenienti dagli scavi; in assenza si dovrà fare ricorso ad elementi simili. Lo stesso procedimento dovrà essere portato in essere nel rivestire tutte le parti in calcestruzzo a vista.

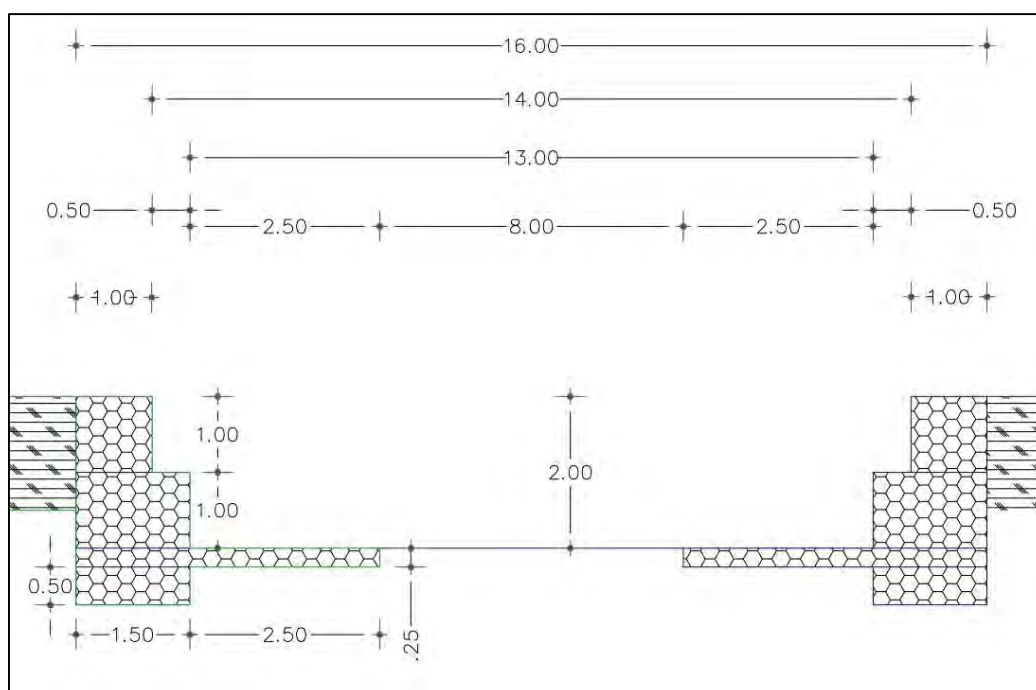


Figura 17 - Sezione tipo a valle a del ponte sulla SS 125

Il collegamento dei due corsi d'acqua verrà regolato da una chiavica antireflusso con funzionamento idraulico: fintanto che il livello del rio Cannas è superiore al pelo libero del rio Picocca la paratoia rimane aperta grazie alla spinta idrodinamica di monte; quando la piena sul rio Picocca è tale da invadere le golene e superare

il livello del rio Cannas la chiavica dovrà chiudersi autonomamente grazie all'inversione della risultante delle spinte idrodinamiche.

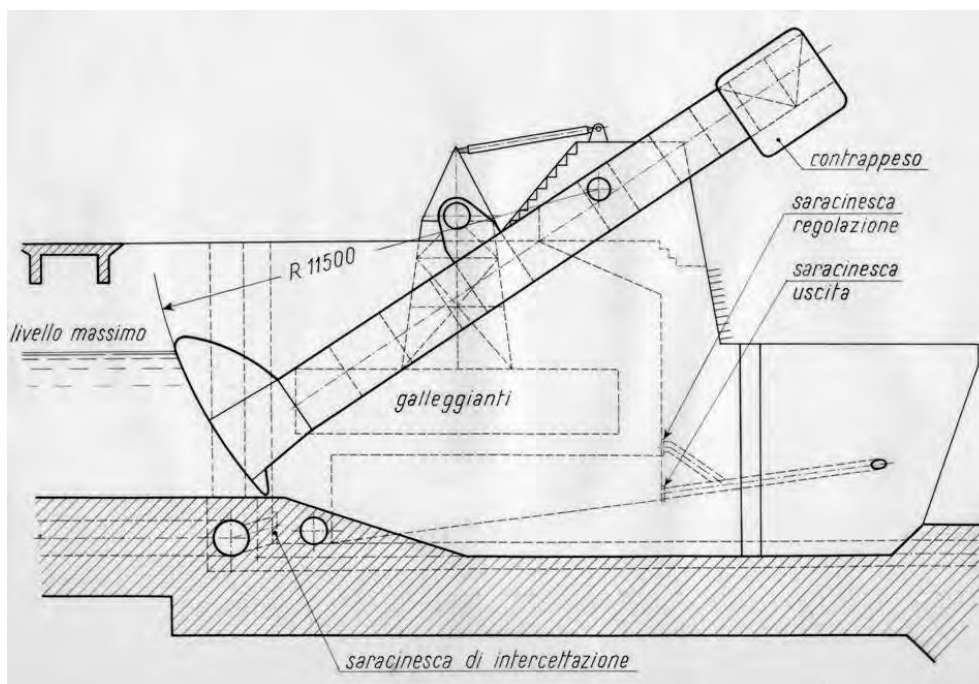


Figura 18 – Esempio di funzionamento paratoia a settore

Opere così importanti necessitano di poter essere raggiunte da operatori in occasione di eventi eccezionali in modo da azionarle meccanicamente qualora si riscontrassero problematiche di vario genere. A tal fine, quindi, dovrà essere realizzato uno stradello di avvicinamento alla chiavica per il quale si utilizzerà l'argine in sinistra idraulica del rio Picocca. Esso, infatti, ad oggi è costituito da alcune file di gabbioni che non sono in grado di contenere la piena duecentennale, né tantomeno di garantire l'assoluta tenuta idraulica (i gabbioni sono realizzati in pietrame, per propria natura permeabili) e per i quali si prevede un rinfianco laterale e un sovrizzo in terra costipata in modo da incrementare la portata critica transitabile sul rio Picocca e conseguentemente aumentare la sicurezza della frazione di San Priamo.

Un'altra problematica è legata all'effetto invaso che si avrebbe qualora la chiavica fosse chiusa e contemporaneamente ci fosse un deflusso del rio Cannas. Una situazione simile comporterebbe un accumulo di acque a monte tale da generare vaste aree di esondazione ai lati del rio, fino ad interessare anche il centro abitato di San Priamo. Per questo si è scelto di realizzare un argine in sinistra del rio Cannas dal ponte sulla SS125 all'immissione sul rio Picocca, raccordandolo all'argine di quest'ultimo.



Figura 19 - Planimetria degli interventi

7.1 Rio Cannas

La sistemazione del rio Cannas risulta essere un problema non semplice a causa delle complicazioni che sorgono dal fatto che confluisca sul rio Picocca. Questo aspetto, infatti, porta seco la difficoltà nell'individuare una soluzione in grado di mitigare la pericolosità indotta dalle piene del rio Cannas e contemporaneamente impedire alle acque del rio Picocca in piena di entrare nell'apertura degli argini così da non inondare le aree comprese tra l'abitato di San Priamo e l'argine in sinistra.

Limitandosi a valutare le piene del rio Cannas, ovvero non considerando la simultaneità degli eventi col rio Picocca, si sono fatte varie ipotesi:

1. realizzare degli argini con gabbionature fuori terra, con conseguenti canali colatori e opere necessarie per il loro passaggio attraverso le infrastrutture presenti;
2. realizzare l'argine in sinistra più alto rispetto a quello in destra cosicché negli eventi di piena l'acqua vada ad allagare la porzione di territorio compresa tra il Cannas e la SS 125, con il tipico funzionamento di una cassa di laminazione in derivazione;
3. approfondire il fondo del rio Cannas fino alla foce così da avere delle arginature totalmente sotto il piano campagna.

Tra le soluzioni proposte si è scelta la terza in quanto non rende necessari i canali colatori tipicamente posti a tergo degli argini ed è compatibile con la realizzazione di una chiavica in corrispondenza della confluenza

sul Picocca. D'altra parte, questa proposta porta con sé lo svantaggio di una più frequente chiusura della chiavica a causa della minore quota inferiore.

Se da un punto di vista idrologico non si prospettano modifiche sostanziali, da un punto di vista idraulico si rende necessaria una nuova verifica. Infatti, gli interventi di cui sopra consistono fondamentalmente nell'inallveamento del rio Cannas, modificando oltre che la sezione anche la livelletta, approfondendola rispetto a quella attuale.

La sezione sarà di forma regolare e composta da due file di gabbioni, al di sotto dei quali verrà inserita un'ulteriore fila di fondazione, oltre che dei materassi Reno legati a questi ultimi in modo da evitare che la corrente possa scalzare alla base i gabbioni a protezione delle sponde laterali.

La soluzione appena descritta è stata ricreata su modello idraulico. Rispetto a quanto descritto al paragrafo 6.3, però, si sono apportate alcune fondamentali modifiche:

- il tratto di valle è stato totalmente risagomato con la sezione vista in precedenza, assegnando un coefficiente di Manning pari a 0.025 in alveo e 0.045 all'esterno;
- per avere degli argini quasi totalmente sotto il piano campagna ed evitare di realizzare colatori, come si è accennato in precedenza, è stata modificata la livelletta del tratto terminale del rio Cannas, con l'aggiunta di una soglia a valle del ponte sulla SS 125. Più precisamente si è scavato rispetto al fondo alveo di una quantità variabile tra 1,30 m nel punto peggiore (in corrispondenza del salto) e meno di 0,40 m sulla confluenza col rio Picocca;
- nella modellazione idraulica non si è tenuto conto della contemporaneità degli effetti delle piene sui rii Cannas e Picocca;
- è stato inserito nel modello anche il raccordo ad oggi mancante tra il tratto di monte del rio Cannas e il ponte sulla SS 125, senza il quale le acque tenderebbero a spandersi sui lati campagna finanche alle abitazioni di San Priamo.

7.1.1 – Normativa in materia

Mediante l'analisi idraulica descritta abbondantemente in precedenza, si è messa in evidenza una diffusa e generale incapacità, da parte del rio Cannas, di contenere le piene con tempo di ritorno di 50 anni.

L'articolo 21 comma 2quater delle Norme di Attuazione del PAI aggiornate nell'ottobre del 2019 e approvate con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.1 del 03/10/2019 e n.1 del 28/10/2019 prevede che *“a seguito del positivo collaudo delle opere di difesa longitudinale, la riclassificazione delle aree in termini di pericolosità idraulica è consentita solo se l'intervento garantisce, con adeguato franco idraulico, la protezione per eventi caratterizzati da tempi di ritorno minimi di 200 anni. Possono essere considerate ammissibili opere di*

mitigazione che, pur dimensionate per tempi di ritorno inferiori ai 200 anni, dimostrino un significativo miglioramento della funzionalità idraulica rispetto alla situazione ante intervento, a parità di criteri utilizzati per tale verifica”

Quanto sopra, quindi, impone che per eliminare i vincoli relativi alla pericolosità idraulica del rio Cannas si debba risagomare la sezione idraulica esistente cosicché sia in grado di smaltire la piena duecentennale e contemporaneamente rispettare il franco idraulico di sicurezza. Se tale obiettivo non viene perseguito si potrà solo mitigare la pericolosità idraulica dimensionando il rio per un tempo di ritorno inferiore.

Per la determinazione del franco idraulico di sicurezza si fa riferimento all'articolo 21 comma 2bis lettera c1 delle suddette NdA del PAI:

“garantiscono un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, corrispondente al massimo tra:

- 1) $v^2/2g$, dove v indica la velocità media della corrente;*
- 2) un metro, per profondità media della corrente superiore a 1 m oppure pari alla profondità media, per profondità media della corrente inferiore o uguale a 1 m;*
- 3) $0,87\sqrt{y+\alpha y'}$, dove y è la profondità media della corrente, y_0 è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.”*

La lettera 2ter aggiunge:

“Nel caso di opere di difesa longitudinale rigide e opportunamente rivestite e protette in modo tale da evitare il collasso, anche parziale, dell'opera per effetto di sormonto, per velocità media della corrente inferiore a 4 m/s il valore del criterio 2) lett. c1) del comma 2bis è pari a 0,50 m. Restano fermi tutti gli altri criteri di cui al comma 2bis.”

7.1.2 – Modellazione idraulica

Come si è detto in precedenza, la sezione del rio Cannas prevede una larghezza alla base di 13,00 m, che in sommità diventano 14 per via delle esigenze costruttive dei gabbioni. Questi, infatti, non possono essere posti verticalmente uno sopra l'altro per evidenti problematiche legate alla stabilità del manufatto, per cui le file

superiori devono essere poste con un parziale arretramento, che nel caso specifico è pari a 0,50 m (si veda la figura 17)

Sulla base di quanto prevede la normativa, è stato eseguito un predimensionamento delle sezioni in funzione delle portate calcolate, mediante la legge di Chezy; queste sono state inserite su HEC-RAS così da eseguire una modellazione idraulica dell'intera asta e in funzione dei tiranti e delle velocità derivanti dalla modellazione, è stato calcolato il franco in ogni sezione.

Nell'ipotesi di argini non tracimabili si ottiene un profilo idraulico come il seguente:

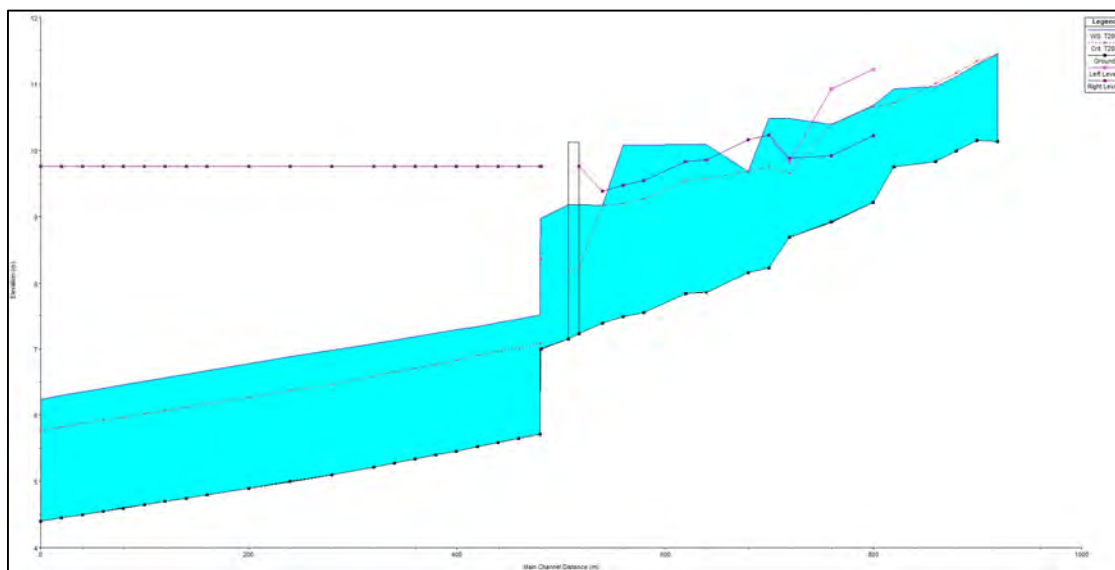


Figura 20 - Profilo per la portata Q200 con argini non tracimabili

Da un punto di vista numerico, emerge che l'altezza delle sponde debba essere pari a circa 3,00m, ovvero sarebbero necessarie almeno tre file di gabbioni per contenere la piena e rispettare il franco idraulico di sicurezza. Ricordando che la station 513.35 è la sezione appena a valle del ponte sulla SS 125, che la station 6.52 si trova in corrispondenza degli argini del Picocca, e che F1, F2 e F3 rappresentano i tre criteri di calcolo per il franco idraulico, si ottiene quanto segue:

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude	F1	F2	F3	Fmax	H argine teorica
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²		m	m	m	m	m
513.35	64.59	7.15	9.18	1.96	1.59	40.70	0.36	0.06	1.00	1.22	1.22	3.25
487.00	64.59	7.00	8.98	1.91	2.42	26.67	0.56	0.15	1.00	1.20	1.20	3.18
Soglia – Inline Structure												
485.88	64.59	5.71	7.51	1.73	2.67	24.20	0.65	0.18	1.00	1.14	1.14	2.94

465.88	64.59	5.65	7.45	1.73	2.67	24.23	0.65	0.18	1.00	1.14	1.14	2.94
445.88	64.59	5.59	7.39	1.73	2.66	24.26	0.65	0.18	1.00	1.14	1.14	2.94
425.88	64.59	5.53	7.34	1.74	2.66	24.30	0.64	0.18	1.00	1.15	1.15	2.96
405.90	64.59	5.46	7.29	1.76	2.63	24.56	0.63	0.18	1.00	1.15	1.15	2.98
386.18	64.59	5.40	7.23	1.76	2.62	24.65	0.63	0.18	1.00	1.15	1.15	2.98
366.15	64.59	5.34	7.18	1.77	2.61	24.74	0.63	0.17	1.00	1.16	1.16	3.00
346.31	64.59	5.28	7.13	1.78	2.60	24.87	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.01
326.31	64.59	5.22	7.08	1.79	2.58	25.00	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.02
286.31	64.59	5.10	6.98	1.81	2.55	25.32	0.61	0.17	1.00	1.17	1.17	3.05
246.31	64.59	5.00	6.88	1.81	2.56	25.28	0.61	0.17	1.00	1.17	1.17	3.05
206.31	64.59	4.90	6.77	1.80	2.56	25.23	0.61	0.17	1.00	1.17	1.17	3.04
166.31	64.59	4.80	6.67	1.80	2.57	25.17	0.61	0.17	1.00	1.17	1.17	3.04
146.30	64.59	4.75	6.62	1.80	2.57	25.13	0.61	0.17	1.00	1.17	1.17	3.04
126.27	64.59	4.70	6.56	1.79	2.57	25.09	0.61	0.17	1.00	1.16	1.16	3.02
106.11	64.59	4.65	6.51	1.79	2.58	25.03	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.02
85.95	64.59	4.60	6.45	1.78	2.59	24.97	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.01
66.39	64.59	4.55	6.4	1.78	2.59	24.93	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.01
46.59	64.59	4.50	6.35	1.78	2.60	24.87	0.62	0.17	1.00	1.16	1.16	3.01
26.58	64.59	4.45	6.29	1.77	2.61	24.78	0.63	0.17	1.00	1.16	1.16	3.00
6.52	64.59	4.40	6.23	1.76	2.62	24.66	0.63	0.18	1.00	1.15	1.15	2.98

Tabella 10 - Risultati della modellazione idraulica per la portata duecentennale con argini non tracimabili

Dai calcoli appena esposti appare evidente che per contenere la piena con tempo di ritorno di 200 anni nel rispetto del franco siano necessarie sponde alte almeno 3 metri, il cui ingombro fuori terra sarebbe di oltre 1 metro, rendendo necessari canali colatori.

È importante notare che il progetto per il quale si redige la presente relazione non preclude la possibilità in futuro di realizzare il sovrizzo degli argini e dei canali colatori, per cui gli interventi sono conformi a quanto prescritto nelle NdA del PAI.

Fatte le precedenti osservazioni, è ora importante valutare la funzionalità degli interventi proposti e i loro effetti sul territorio. A tal fine è stata condotta la modellazione con argini tracimabili, ovvero con la sezione di progetto, con le seguenti caratteristiche:

- le portate inserite sono quelle della configurazione ante operam;
- nel tratto di monte, vista la presenza di alberi all'interno dell'alveo, si è scelto un coefficiente di Manning pari a 0.035, mentre nel tratto di valle pari a 0.025;
- come condizione al contorno di monte si è scelta l'altezza critica, mentre come condizione di valle l'altezza di moto uniforme, ossia la pendenza del tratto terminale secondo la nuova livelletta;

- non si è considerata la contemporaneità dei picchi di piena del rio Cannas e del rio Picocca, cosa verosimile visti i tempi di corrivazione molto differenti tra loro;
- la sezione di progetto è quella riportata in figura 17, quindi risulta per la quasi totalità del tracciato al di sotto del piano campagna attuale (nelle fasce esterne all'alveo attuale);
- l'argine sinistro è stato posto a quota 10,58 m slm per raccordarsi a quello di progetto del rio Picocca (si rimanda al paragrafo 7.4 per le motivazioni di tale scelta).

7.1.3 – Risultati della modellazione idraulica

La modellazione idraulica ha messo in evidenza come la sezione e la livelletta di progetto siano in grado di contenere la piena duecentennale a franco annullato.

Per valutare il tempo di ritorno critico, ovvero quello tale per cui la piena transiti nell'alveo col contemporaneo rispetto del franco idraulico di sicurezza, si è eseguita la modellazione imputando varie portate (calcolate con tempi di ritorno differenti secondo la metodologia ampiamente descritta nel paragrafo 5.1). Questo procedimento ha permesso di individuare un tempo di ritorno di critico di appena 10 anni, a cui corrisponde una portata pari a 23,24 m³/s.

Di seguito si riportano i risultati della modellazione eseguita su HEC-RAS per i cinque diversi tempi di ritorno considerati.

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude	F1	F2	F3	Fmax
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²		m	m	m	m
513.35	23.24	7.15	8.14	0.99	1.18	19.70	0.38	0.04	0.99	0.87	0.99
487.00	23.24	7.00	8.01	0.94	1.76	13.19	0.58	0.08	0.94	0.84	0.94
Soglia – Inline Structure											
485.88	23.24	5.71	6.64	0.93	1.92	12.12	0.63	0.09	0.93	0.84	0.93
465.88	23.24	5.65	6.58	0.93	1.92	12.11	0.63	0.09	0.93	0.84	0.93
445.88	23.24	5.59	6.52	0.93	1.92	12.10	0.64	0.09	0.93	0.84	0.93
425.88	23.24	5.53	6.46	0.93	1.92	12.09	0.64	0.09	0.93	0.84	0.93
405.90	23.24	5.46	6.41	0.95	1.89	12.29	0.62	0.09	0.95	0.85	0.95
386.18	23.24	5.40	6.35	0.95	1.88	12.34	0.62	0.09	0.95	0.85	0.95
366.15	23.24	5.34	6.29	0.95	1.87	12.40	0.61	0.09	0.95	0.85	0.95
346.31	23.24	5.28	6.24	0.96	1.86	12.48	0.61	0.09	0.96	0.85	0.96
326.31	23.24	5.22	6.19	0.97	1.85	12.57	0.60	0.09	0.97	0.86	0.97
286.31	23.24	5.10	6.09	0.99	1.81	12.85	0.58	0.08	0.99	0.87	0.99
246.31	23.24	5.00	5.99	0.99	1.81	12.84	0.58	0.08	0.99	0.87	0.99
206.31	23.24	4.90	5.89	0.99	1.81	12.83	0.58	0.08	0.99	0.87	0.99
166.31	23.24	4.80	5.78	0.98	1.82	12.80	0.58	0.08	0.98	0.86	0.98
146.30	23.24	4.75	5.73	0.98	1.82	12.79	0.59	0.08	0.98	0.86	0.98
126.27	23.24	4.70	5.68	0.98	1.82	12.76	0.59	0.08	0.98	0.86	0.98
106.11	23.24	4.65	5.63	0.98	1.83	12.72	0.59	0.09	0.98	0.86	0.98
85.95	23.24	4.60	5.58	0.98	1.83	12.68	0.59	0.09	0.98	0.86	0.98
66.39	23.24	4.55	5.52	0.97	1.84	12.65	0.59	0.09	0.97	0.86	0.97
46.59	23.24	4.50	5.47	0.97	1.84	12.60	0.60	0.09	0.97	0.86	0.97
26.58	23.24	4.45	5.41	0.96	1.86	12.52	0.60	0.09	0.96	0.85	0.96
6.52	23.24	4.40	5.35	0.95	1.87	12.41	0.61	0.09	0.95	0.85	0.95

Tabella 11 - Risultati della modellazione per Tr = 10 anni

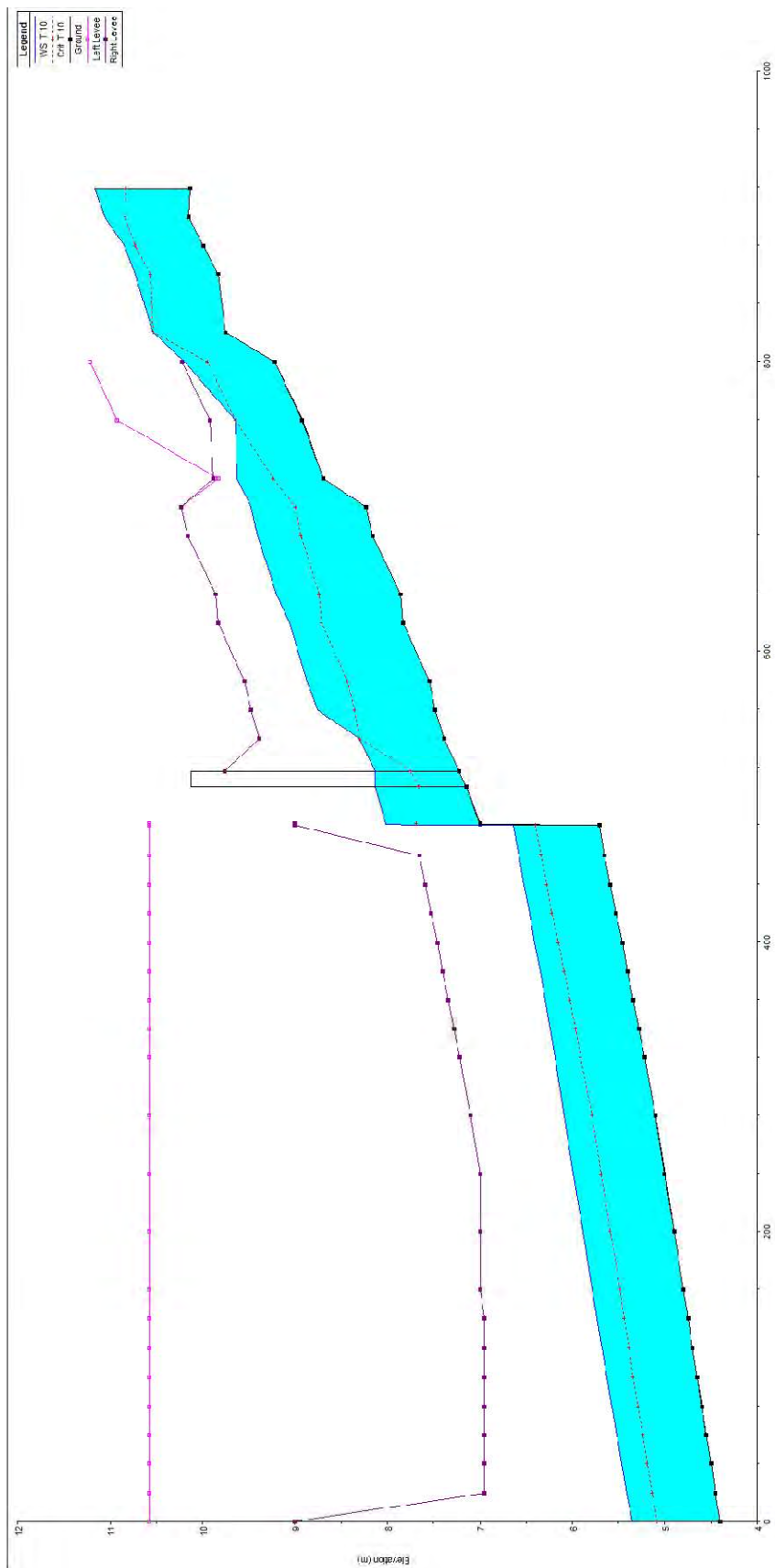


Figura 21 - Profilo della corrente per $Tr = 10$ anni

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude	F1	F2	F3	Fmax
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²		m	m	m	m
513.35	44.79	7.15	8.73	1.51	1.42	31.53	0.36	0.05	1	1.07	1.07
487.00	44.79	7.00	8.56	1.49	2.15	20.82	0.56	0.12	1	1.06	1.06
Soglia – Inline Structure											
485.88	44.79	5.71	7.14	1.36	2.36	19.01	0.65	0.14	1	1.01	1.01
465.88	44.79	5.65	7.08	1.36	2.36	19.02	0.65	0.14	1	1.01	1.01
445.88	44.79	5.59	7.02	1.36	2.35	19.04	0.64	0.14	1	1.01	1.01
425.88	44.79	5.53	6.96	1.36	2.35	19.05	0.64	0.14	1	1.01	1.01
405.90	44.79	5.46	6.91	1.38	2.32	19.30	0.63	0.14	1	1.02	1.02
386.18	44.79	5.40	6.86	1.39	2.31	19.38	0.63	0.14	1	1.03	1.03
366.15	44.79	5.34	6.80	1.39	2.30	19.46	0.62	0.13	1	1.03	1.03
346.31	44.79	5.28	6.75	1.40	2.29	19.56	0.62	0.13	1	1.03	1.03
326.31	44.79	5.22	6.70	1.41	2.28	19.69	0.61	0.13	1	1.03	1.03
286.31	44.79	5.10	6.60	1.43	2.24	20.00	0.60	0.13	1	1.04	1.04
246.31	44.79	5.00	6.50	1.43	2.24	19.97	0.60	0.13	1	1.04	1.04
206.31	44.79	4.90	6.40	1.43	2.25	19.94	0.60	0.13	1	1.04	1.04
166.31	44.79	4.80	6.29	1.42	2.25	19.89	0.60	0.13	1	1.04	1.04
146.30	44.79	4.75	6.24	1.42	2.26	19.85	0.60	0.13	1	1.04	1.04
126.27	44.79	4.70	6.19	1.42	2.26	19.81	0.61	0.13	1	1.04	1.04
106.11	44.79	4.65	6.13	1.41	2.27	19.76	0.61	0.13	1	1.03	1.03
85.95	44.79	4.60	6.08	1.41	2.27	19.69	0.61	0.13	1	1.03	1.03
66.39	44.79	4.55	6.03	1.41	2.28	19.65	0.61	0.13	1	1.03	1.03
46.59	44.79	4.50	5.97	1.40	2.29	19.58	0.62	0.13	1	1.03	1.03
26.58	44.79	4.45	5.91	1.39	2.30	19.49	0.62	0.13	1	1.03	1.03
6.52	44.79	4.40	5.85	1.38	2.32	19.34	0.63	0.14	1	1.02	1.02

Tabella 12 - Risultati della modellazione per Tr = 50 anni

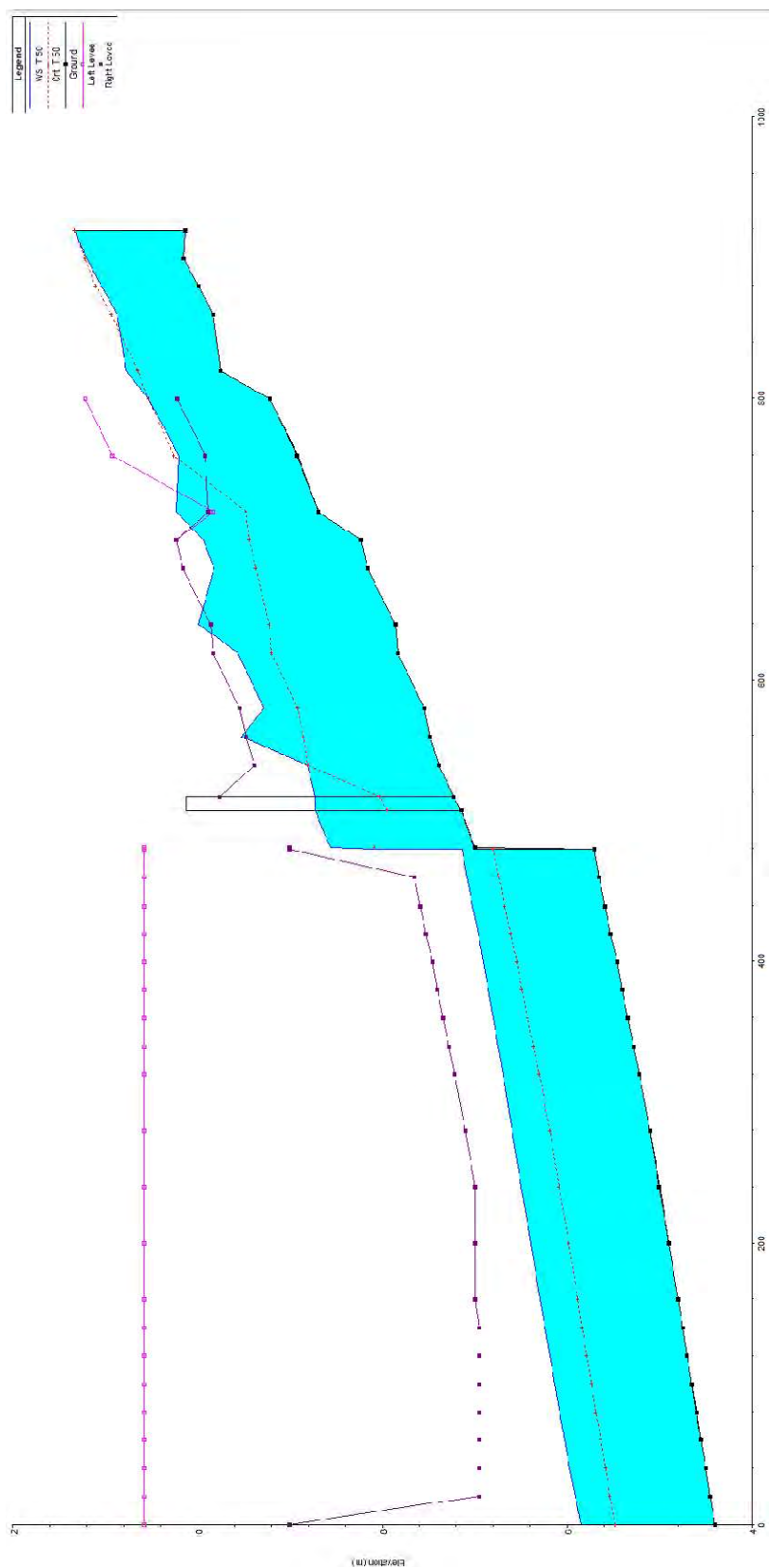


Figura 22 – Profilo della corrente per $Tr = 50$ anni

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude	F1	F2	F3	Fmax
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²		m	m	m	m
513.35	54.54	7.15	8.92	1.70	1.54	35.37	0.37	0.06	1	1.13	1.13
487.00	54.54	7.00	8.71	1.64	2.37	22.98	0.59	0.14	1	1.11	1.11
Soglia – Inline Structure											
485.88	54.54	5.71	7.33	1.55	2.52	21.63	0.65	0.16	1	1.08	1.08
465.88	54.54	5.65	7.27	1.55	2.52	21.65	0.65	0.16	1	1.08	1.08
445.88	54.54	5.59	7.21	1.55	2.52	21.67	0.65	0.16	1	1.08	1.08
425.88	54.54	5.53	7.15	1.55	2.51	21.70	0.64	0.16	1	1.08	1.08
405.90	54.54	5.46	7.10	1.57	2.48	21.96	0.63	0.16	1	1.09	1.09
386.18	54.54	5.40	7.05	1.58	2.47	22.04	0.63	0.16	1	1.09	1.09
366.15	54.54	5.34	6.99	1.58	2.46	22.13	0.63	0.15	1	1.09	1.09
346.31	54.54	5.28	6.94	1.59	2.45	22.24	0.62	0.15	1	1.10	1.10
326.31	54.54	5.22	6.89	1.60	2.44	22.37	0.62	0.15	1	1.10	1.10
286.31	54.54	5.10	6.79	1.62	2.40	22.69	0.60	0.15	1	1.11	1.11
246.31	54.54	5.00	6.69	1.62	2.41	22.65	0.60	0.15	1	1.11	1.11
206.31	54.54	4.90	6.59	1.62	2.41	22.61	0.61	0.15	1	1.11	1.11
166.31	54.54	4.80	6.48	1.61	2.42	22.54	0.61	0.15	1	1.10	1.10
146.30	54.54	4.75	6.43	1.61	2.42	22.50	0.61	0.15	1	1.10	1.10
126.27	54.54	4.70	6.38	1.61	2.43	22.46	0.61	0.15	1	1.10	1.10
106.11	54.54	4.65	6.32	1.60	2.44	22.40	0.61	0.15	1	1.10	1.10
85.95	54.54	4.60	6.27	1.60	2.44	22.33	0.62	0.15	1	1.10	1.10
66.39	54.54	4.55	6.21	1.59	2.45	22.28	0.62	0.15	1	1.10	1.10
46.59	54.54	4.50	6.16	1.59	2.46	22.21	0.62	0.15	1	1.10	1.10
26.58	54.54	4.45	6.10	1.58	2.47	22.11	0.63	0.16	1	1.09	1.09
6.52	54.54	4.40	6.04	1.57	2.48	21.96	0.63	0.16	1	1.09	1.09

Tabella 13 - Risultati della modellazione per Tr = 100 anni

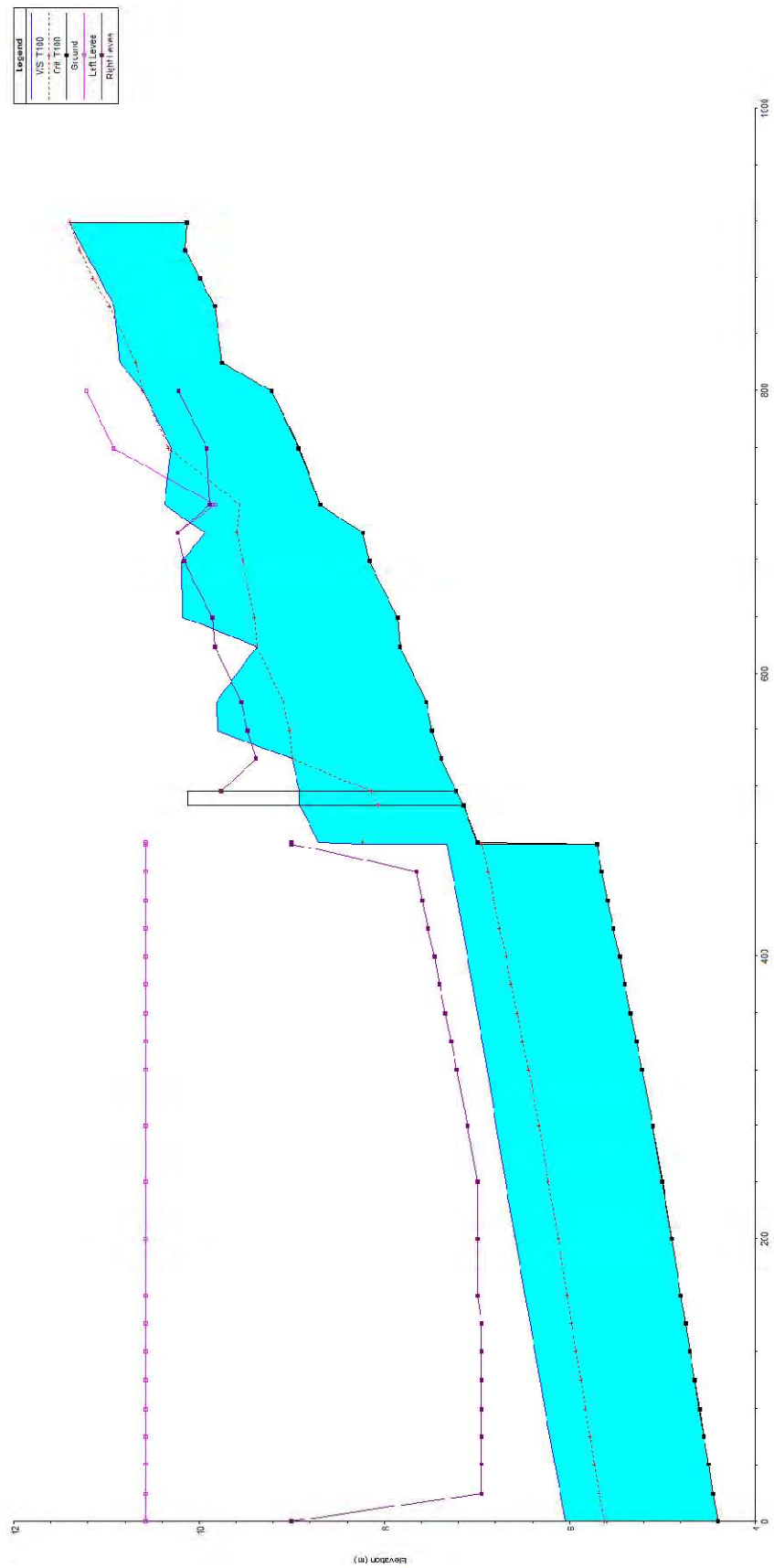


Figura 23 - Profilo della corrente per $Tr = 100$ anni

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude	F1	F2	F3	Fmax
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²		m	m	m	m
513.35	64.59	7.15	8.93	1.71	1.81	35.69	0.43	0.08	1	1.14	1.14
487.00	64.59	7.00	8.37	1.30	3.57	18.12	1.00	0.32	1	0.99	1.00
Soglia – Inline Structure											
485.88	64.59	5.71	7.51	1.73	2.67	24.20	0.65	0.18	1	1.14	1.14
465.88	64.59	5.65	7.45	1.73	2.67	24.22	0.65	0.18	1	1.14	1.14
445.88	64.59	5.59	7.39	1.73	2.66	24.25	0.65	0.18	1	1.14	1.14
425.88	64.59	5.53	7.34	1.74	2.66	24.29	0.64	0.18	1	1.15	1.15
405.90	64.59	5.46	7.29	1.76	2.63	24.55	0.63	0.18	1	1.15	1.15
386.18	64.59	5.40	7.23	1.76	2.62	24.64	0.63	0.18	1	1.15	1.15
366.15	64.59	5.34	7.18	1.77	2.61	24.73	0.63	0.17	1	1.16	1.16
346.31	64.59	5.28	7.13	1.78	2.60	24.85	0.62	0.17	1	1.16	1.16
326.31	64.59	5.22	7.08	1.79	2.59	24.98	0.62	0.17	1	1.16	1.16
286.31	64.59	5.10	6.98	1.81	2.55	25.30	0.61	0.17	1	1.17	1.17
246.31	64.59	5.00	6.88	1.81	2.56	25.25	0.61	0.17	1	1.17	1.17
206.31	64.59	4.90	6.77	1.80	2.56	25.20	0.61	0.17	1	1.17	1.17
166.31	64.59	4.80	6.67	1.80	2.57	25.13	0.61	0.17	1	1.17	1.17
146.30	64.59	4.75	6.61	1.79	2.58	25.08	0.61	0.17	1	1.16	1.16
126.27	64.59	4.70	6.56	1.79	2.58	25.03	0.62	0.17	1	1.16	1.16
106.11	64.59	4.65	6.50	1.78	2.59	24.97	0.62	0.17	1	1.16	1.16
85.95	64.59	4.60	6.45	1.78	2.60	24.89	0.62	0.17	1	1.16	1.16
66.39	64.59	4.55	6.40	1.78	2.60	24.84	0.62	0.17	1	1.16	1.16
46.59	64.59	4.50	6.34	1.77	2.61	24.76	0.63	0.17	1	1.16	1.16
26.58	64.59	4.45	6.28	1.76	2.62	24.67	0.63	0.18	1	1.15	1.15
6.52	64.59	4.40	6.22	1.75	2.64	24.51	0.64	0.18	1	1.15	1.15

Tabella 14 - Risultati della modellazione per Tr = 200 anni

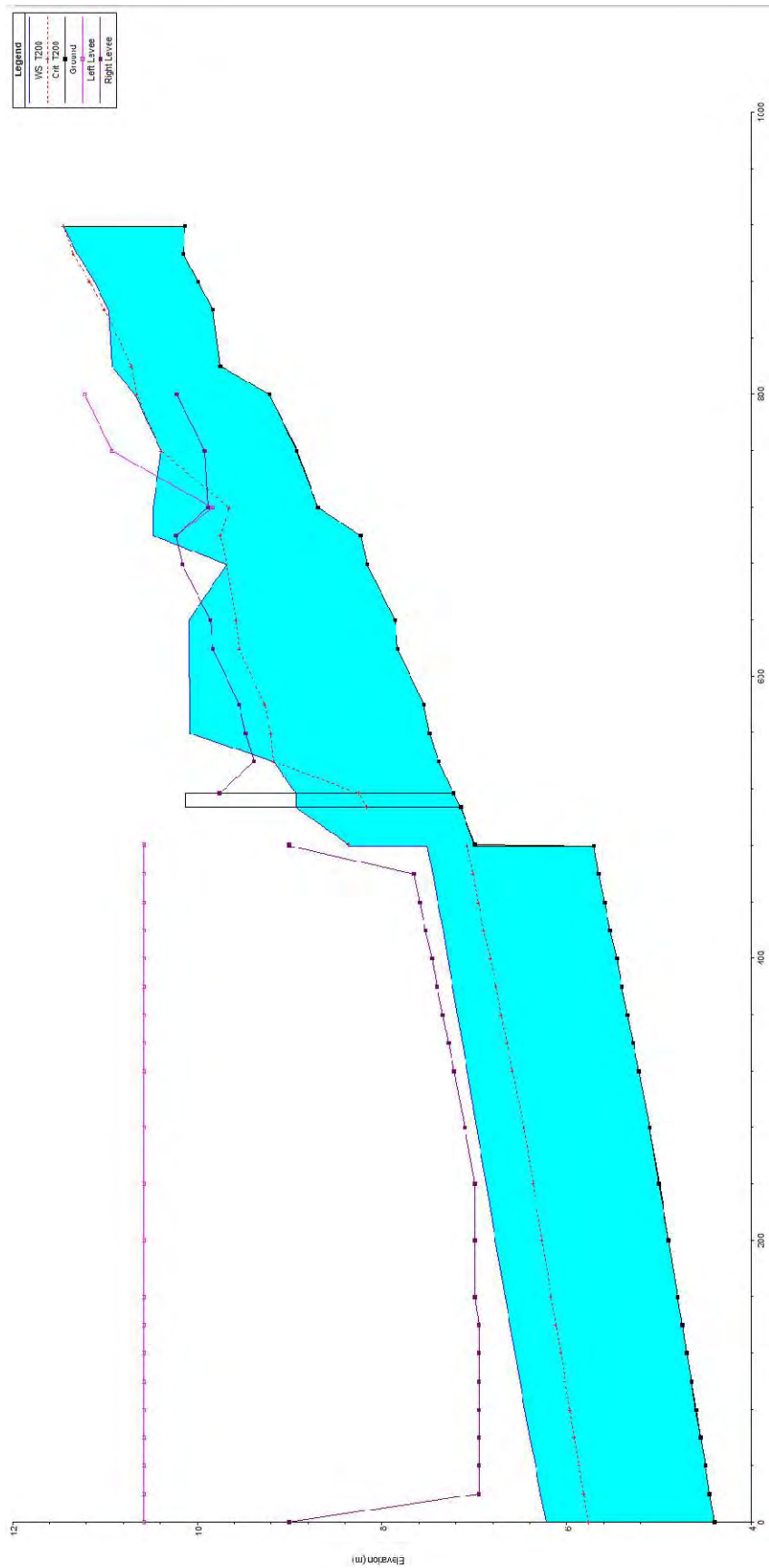


Figura 24 - Profilo della corrente per $Tr = 200$ anni

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo	Profondità media	Velocità	Area bagnata	Froude
-	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²	
513.35	78.44	7.15	9.19	1.97	1.93	40.74	0.43
487.00	78.44	7.00	8.55	1.48	3.80	20.64	1.00
Soglia – Inline Structure							
78.44	5.71	7.78	2.00	2.81	27.93	0.63	78.44
78.44	5.65	7.73	2.01	2.79	29.27	0.63	78.44
78.44	5.59	7.66	2.00	2.80	28.27	0.63	78.44
78.44	5.53	7.61	2.01	2.79	28.93	0.63	78.44
78.44	5.46	7.55	2.02	2.76	29.16	0.62	78.44
78.44	5.40	7.50	2.03	2.76	29.30	0.62	78.44
78.44	5.34	7.45	2.04	2.74	30.26	0.61	78.44
78.44	5.28	7.39	2.04	2.73	29.91	0.61	78.44
78.44	5.22	7.34	2.05	2.73	29.70	0.61	78.44
78.44	5.10	7.25	2.08	2.67	31.86	0.59	78.44
78.44	5.00	7.14	2.07	2.69	31.02	0.60	78.44
78.44	4.90	7.05	2.08	2.64	33.42	0.58	78.44
78.44	4.80	6.90	2.03	2.76	28.45	0.62	78.44
78.44	4.75	6.85	2.03	2.76	28.41	0.62	78.44
78.44	4.70	6.80	2.03	2.77	28.36	0.62	78.44
78.44	4.65	6.74	2.02	2.77	28.29	0.62	78.44
78.44	4.60	6.69	2.02	2.78	28.22	0.63	78.44
78.44	4.55	6.63	2.01	2.79	28.16	0.63	78.44
78.44	4.50	6.58	2.01	2.79	28.08	0.63	78.44
78.44	4.45	6.52	2.00	2.80	27.98	0.63	78.44
78.44	4.40	6.46	1.99	2.82	27.82	0.64	78.44

Tabella 15 - Risultati della modellazione per Tr = 500 anni

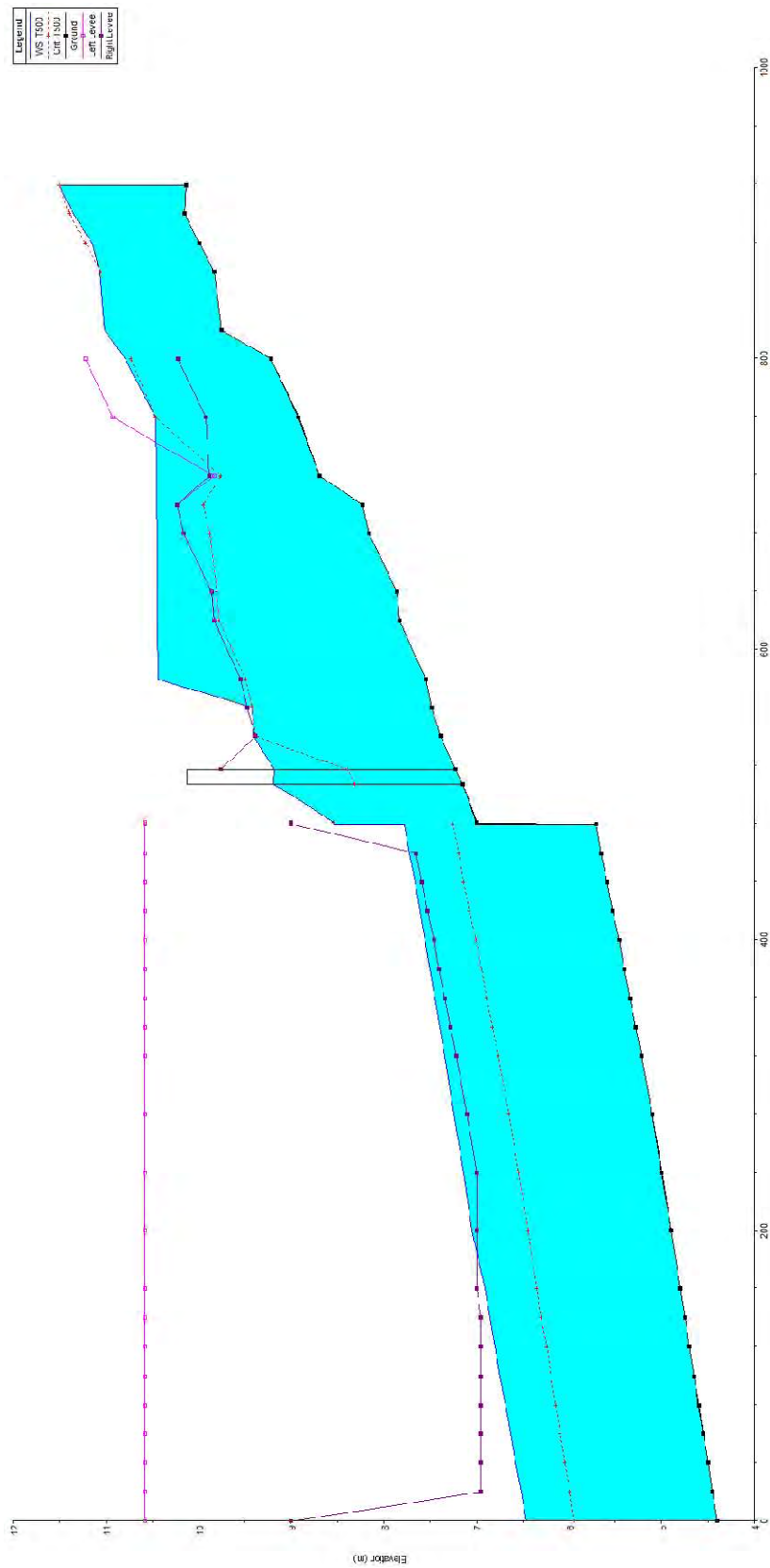


Figura 25 - Profilo della corrente per $Tr = 500$ anni

7.2 Rio Picocca

Il rio Picocca, nel tratto a monte dell'attraversamento della strada provinciale SP 20, è caratterizzato dalla presenza di un solo argine maestro in sinistra idraulica posto in ritiro rispetto a quello che comunemente viene denominato "alveo di magra", ovvero l'alveo capace di contenere le portate ordinarie. Tra l'alveo di magra e l'argine è presente una fascia golenale di ampiezza variabile che viene interessata dalle acque solo in occasione delle piene più rilevanti.

Il suddetto argine è costituito da tre file di gabbioni fuori terra (in alcuni punti si rilevano 4 file di gabbioni) poggianti su un'ulteriore fila interrata che ne fa da fondazione.



Figura 26 - Foto dell'argine del rio Picocca sulla sponda destra dello sfocio del rio Cannas (foto del 07.11.2019)

Una simile tipologia ha sicuramente un effetto confinante nei confronti delle piene, ma non è in grado di garantire l'impermeabilità dell'arginatura. Per questo motivo, oltre che per incrementarne la stabilità, la convenzione per cui si redige il presente progetto prevede *“esecuzione argine a tergo gabbioni, al fine di consolidarne la stabilità, creare una barriera idraulica e contestualmente una via d'accesso alla chiavica (di cui si parlerà nel paragrafo 7.3) in momenti di criticità ambientale”*.

Sfruttando il modello descritto al punto 6.3, è possibile valutare la quota tale per cui la piena con tempo di ritorno di 200 anni del rio Picocca risulti essere contenuta in sponda sinistra dall'argine. Per far ciò si sono inseriti degli argini fittizi in concomitanza delle file dei gabbioni, si sono osservati i nuovi livelli idrici e determinate le varie grandezze utili al calcolo del franco idraulico di sicurezza, già descritto ampiamente al paragrafo 7.1.1. Di seguito si riporta una planimetria con il tratto d'argine da consolidare, i risultati della modellazione idraulica nel tratto di interesse e il calcolo del franco idraulico e conseguentemente l'altezza di progetto dell'argine.



Figura 27 - Tratto in cui realizzare e integrare l'argine

River station	Portata	Quota fondo	Quota pelo libero	Profondità	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m	m/s	m ²	
5213.18	1631	3.30	9.13	5.83	1.65	1455.88	0.23
5182.35	1631	3.24	9.13	5.89	1.51	1553.30	0.21
5142.35	1631	3.35	9.12	5.77	1.41	1636.96	0.19
5102.35	1631	3.19	9.12	5.93	1.34	1701.32	0.18
5040.86	1631	2.66	9.11	6.45	1.17	1851.35	0.16
4982.34	1631	2.25	9.11	6.86	1.09	1981.77	0.15
4942.34	1631	1.97	9.10	7.13	1.10	2019.05	0.15
4909.88	1631	1.94	9.10	7.16	1.03	2118.67	0.14
4862.40	1631	1.89	9.09	7.20	1.11	2018.81	0.15
4822.34	1631	2.85	9.08	6.23	1.11	1968.78	0.15
4802.28	1631	1.75	9.08	7.33	1.11	1964.46	0.15
Immissione del rio Cannas							
4702.13	1651	2.04	9.06	7.02	1.15	1940.19	0.15
4682.11	1651	1.77	9.06	7.29	1.13	1979.17	0.15
4662.35	1651	2.35	9.06	6.71	1.12	1960.65	0.15
4642.31	1651	2.10	9.06	6.96	1.11	1989.23	0.15
4622.30	1651	2.26	9.05	6.79	1.11	1975.79	0.15
4602.30	1651	1.68	9.05	7.37	1.09	1977.05	0.15
4582.33	1651	1.71	9.05	7.34	1.10	1960.87	0.15
4562.30	1651	1.64	9.04	7.40	1.12	1967.48	0.15
4542.35	1651	1.34	9.04	7.70	1.12	1987.07	0.15
4522.29	1651	1.22	9.04	7.82	1.09	2029.83	0.14
4502.09	1651	1.27	9.03	7.76	1.09	2011.64	0.14
4480.58	1651	1.60	9.03	7.43	1.08	1973.64	0.14

4409.46	1651	3.08	8.51	5.43	3.28	559.40	0.49
---------	------	------	------	------	------	--------	------

Tabella 16 - Risultati della modellazione nel tratto di interesse del rio Picocca con argini non tracimabili

River station	F1	F2	F3	Fmax		Quota argine teorica	Quota argine attuale	Quota argine di progetto
						m	m	
5213.18	0.07	1.00	1.50	1.50		10.63	10.15	10.63
5182.35	0.06	1.00	1.50	1.50		10.63	10.15	10.63
5142.35	0.05	1.00	1.50	1.50		10.62	10.02	10.62
5102.35	0.05	1.00	1.50	1.50		10.62	9.99	10.62
5040.86	0.03	1.00	1.50	1.50		10.61	9.81	10.61
4982.34	0.03	1.00	1.50	1.50		10.61	9.67	10.61
4942.34	0.03	1.00	1.50	1.50		10.60	9.64	10.60
4909.88	0.03	1.00	1.50	1.50		10.60	9.64	10.60
4862.40	0.03	1.00	1.50	1.50		10.59	9.35	10.59
4822.34	0.03	1.00	1.50	1.50		10.58	9.27	10.58
4802.28	0.03	1.00	1.50	1.50		10.58	9.18	10.58
Immissione rio Cannas								
4702.13	0.03	1.00	1.50	1.50		10.56	8.83	10.58
4682.11	0.03	1.00	1.50	1.50		10.56	8.83	10.57
4662.35	0.03	1.00	1.50	1.50		10.56	8.78	10.56
4642.31	0.03	1.00	1.50	1.50		10.56	8.67	10.56
4622.30	0.03	1.00	1.50	1.50		10.55	8.63	10.55
4602.30	0.03	1.00	1.50	1.50		10.55	8.57	10.55
4582.33	0.03	1.00	1.50	1.50		10.55	8.53	10.55
4562.30	0.03	1.00	1.50	1.50		10.54	8.45	10.54
4542.35	0.03	1.00	1.50	1.50		10.54	8.47	10.54
4522.29	0.03	1.00	1.50	1.50		10.54	8.31	10.54
4502.09	0.03	1.00	1.50	1.50		10.53	8.34	10.53
4480.58	0.03	1.00	1.50	1.50		10.53	8.26	10.53
4409.46	0.27	1.00	1.50	1.50		10.01	8.20	10.53

Tabella 17 - Calcolo del franco idraulico e dell'altezza del nuovo argine

Uno degli aspetti più interessanti delle gabbionate è la possibilità di implementazione degli elementi costituenti, in quanto sono costituite da una serie di moduli, anche di dimensioni diverse, affiancati e sovrapposti, che ne permettono una flessibilità realizzativa notevole.

Aggiungere una fila di gabbioni in sommità, senza rinfianco laterale, richiederebbe contestualmente di aggiungere una fila di supporto per ogni strato (ogni fila è supportata da almeno due sottostanti). In realtà, come si è accennato agli inizi del capitolo 7, si è scelto di realizzare un rilevato laterale in materiale sciolto sul lato campagna delle gabbionate così da conferirne una maggiore stabilità e soprattutto l'impermeabilità. Così

facendo, inoltre, è possibile realizzare uno stradello percorribile durante gli eventi di piena straordinari che colleghi la SS125 con la chiavica.

Il suddetto rilevato dovrà essere realizzato per strati compattati fino alla quota richiesta, andando ad integrare l'attuale argine esistente.

7.3 Chiavica

Nel capitolo precedente si sono ridefiniti gli argini sul rio Picocca necessari per contenere le piene con tempo di ritorno di 200 anni e contestualmente rispettare il franco idraulico di sicurezza. Lungo lo sviluppo del corpo arginale si possono osservare alcune aperture che costituiscono l'immissione di rii minori all'interno di quello principale. Nel caso specifico si pone maggiore attenzione al rio Cannas, già studiato al paragrafo 7.1.

Questo aspetto porta con sé un importante problema legato all'uscita delle acque del rio Picocca durante le fasi di piena, le quali vanno ad allagare tutta l'area che si vuole proteggere con i nuovi argini (di cui al punto 7.2) fino ad interessare una porzione dell'abitato di San Priamo.

Per ovviare a ciò, la convenzione prevede di inserire una chiavica in corrispondenza dell'apertura sull'arginatura del rio Picocca che funzioni autonomamente sulla base dei livelli idrici di monte e valle, e più precisamente:

- la chiavica rimarrà usualmente aperta così da permettere il deflusso delle acque del rio Cannas all'interno del rio Picocca;
- in occasione delle piene del rio Picocca, i livelli nell'alveo tenderanno a crescere sempre più fino ad arrivare alla chiavica e alla sua chiusura automatica allorquando il tirante sul Picocca sia superiore a quello sul Cannas.

La chiavica sarà raggiungibile in qualsiasi momento sia dalla sponda sinistra, all'incrocio tra l'arginatura e la SP 20, sia dalla sponda destra, all'incrocio tra l'arginatura e la SS125. Questo aspetto è molto importante perché permetterà il monitoraggio e una risoluzione manuale ad un qualsivoglia eventuale problema dell'opera, anche nelle fasi di piena.

Solitamente le chiaviche sono utilizzate per regimentare lo sbocco di canali di dreno, condotte, e scarichi all'interno di corsi d'acqua i cui livelli, nelle fasi di piena, potrebbero raggiungere quote tali da generare la risalita delle acque in essi. Questo fenomeno comporterebbe importanti problematiche nel territorio perché, oltre alla portata che non viene smaltita dalle condotte/canali, si immetterebbe negli stessi un deflusso aggiuntivo proveniente dal corso d'acqua principale per il semplice sistema dei vasi comunicanti.

Ne deriva che o si dimensionano degli scarichi con una quota di immissione posta ad un livello maggiore rispetto al pelo libero del corso d'acqua principale, ovvero si realizza una paratoia sullo sbocco che impedisca la risalita delle acque. Detto che la scelta è fortemente influenzata dalla morfologia del territorio, si è soliti optare per la disposizione di una paratoia.

Le paratoie si dividono in due grandi macrocategorie: funzionamento a ghigliottina o funzionamento basculante. Le prime possono essere azionate manualmente o meccanicamente e prevedono una lastra verticale che regimenta le acque in uscita in funzione della sua posizione e quindi della luce libera sullo scarico. Le seconde, il cui esempio più diffuso è costituito dalle valvole antireflusso a Clapet, constano di una paratoia mobile rispetto ad un asse orizzontale che si apre o si chiude in funzione della differenza del carico idraulico tra monte e valle.

Il caso specifico risulta essere più complicato rispetto ai classici esempi di utilizzo delle valvole antireflusso. Infatti, ci si trova con due diverse problematiche da affrontare: da una parte ci si pone l'obiettivo di evitare che le acque del Picocca possano entrare dall'apertura degli argini nel rio Cannas e di conseguenza inondare San Priamo; dall'altra si vuole garantire il passaggio delle acque del rio Cannas per tempi di ritorno importanti (200 anni) senza generare rigurgiti a monte che possano aggravare la vulnerabilità degli elementi a rischio a monte. L'unione delle esigenze di cui sopra, in realtà, risulta essere impossibile da ottenere in presenza di eventi estremi che si sviluppano contemporaneamente, ossia qualora il livello del Picocca sia maggiore rispetto alla concomitante piena sul rio Cannas. In questa circostanza, infatti, le acque del Cannas troverebbero l'impedimento della chiavica chiusa, la quale costituirebbe uno sbarramento al deflusso con conseguente sviluppo di un forte profilo di rigurgito a monte e quindi all'esondazione di tutte le aree poste in sinistra e in destra idraulica, compresa la frazione di San Priamo.

La chiavica in progetto viene riportata schematicamente nella seguente figura:

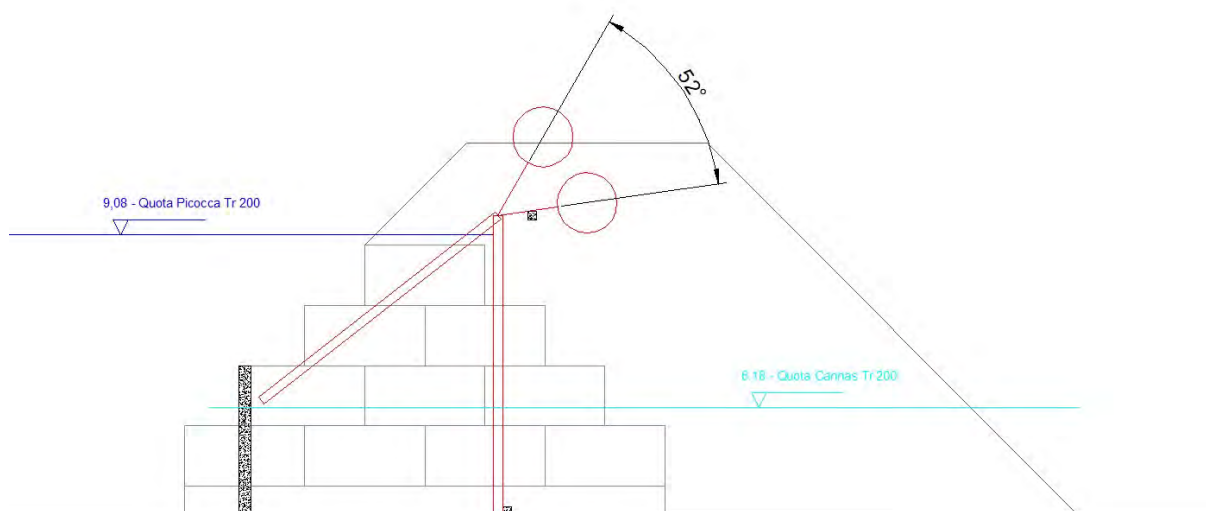


Figura 28 - Paratoia mobile autoregolante

Fatta interamente in acciaio, ha un'altezza di 5 m e una larghezza di 14 m e ruota rispetto al suo punto sommitale. Avendo assunto uno spessore di 15 cm con una camera d'aria all'interno che ne costituisce due terzi del volume, si è reso necessario aggiungere anche un contrappeso inclinato di 30° rispetto all'asse verticale della paratoia e con un braccio pari ad 1,00 m più il raggio del cilindro pari a 0,50 m.

Viste le dimensioni della paratoia, al fine di far passare la piena duecentennale lungo il rio Cannas è necessario che si sollevi almeno di una quantità pari al battente per $Tr=200$ anni, ossia di 1,75 m. Questo valore si ottiene con una rotazione rispetto all'asse verticale di circa 52° .

Quote	H_{Pic}	9.08	m slm	Quota pelo libero Picocca
	H_C	6.90	m slm	Quota pelo libero Cannas
	z	4.40	m slm	Quota fondo
Pesi materiali	γ_w	9810	N/m ³	Peso specifico acqua
	γ_a	76518	N/m ³	Peso specifico acciaio
Dimensioni cilindro	R_c	0.5	m	Raggio del cilindro
	L_c	14	m	Lunghezza cilindro
	$V_{c\ ext}$	11.00	m ³	Volume esterno del cilindro
	s_c	0.15	m	Spessore del cilindro
	V_{cm}	5.61	m ³	Volume materiale cilindro di valle
Dimensioni paratoia	H_P	5.00	m	Altezza paratoia
	L_P	14.00	m	Lunghezza paratoia
	%v	66.60	%	Percentuali vuoti nella scatola di metallo
	s_P	0.15	m	Spessore paratoia
	V_P	10.50	m ³	Volume paratoia

Tabella 18 – Grandezze utili per il dimensionamento della chiavica

Le azioni (per unità di lunghezza) da valutare per il dimensionamento della chiavica sono:

1. Spinta idrostatica: $\gamma_w \frac{h^2}{2}$
2. Peso proprio della paratoia: $\gamma_a H_P s_P \%v$
3. Peso proprio della cilindro: $\gamma_a \pi (R_{ext}^2 - R_{int}^2)$

Essendo una chiavica basculante, il dimensionamento va eseguito sulla base dei momenti prodotti dalle azioni suddette rispetto al fulcro in varie configurazioni:

	Posizione iniziale paratoia	Battente del Picocca	Battente del Cannas	Condizione da verificare
Condizione ordinaria	Aperta	0,00 m	0,00 m	$M_{aper} > M_{chius}$
Condizione piena del Picocca	Aperta	4,68 m	1,75 m	$M_{aper} < M_{chius}$
Condizione post piena del Picocca	Chiusa	0,00 m	1,75 m	$M_{aper} > M_{chius}$

La valutazione dei momenti è stata fatta al variare dell'angolo di inclinazione α delle paratoia, tra 0° e 52° , così da verificare il suo funzionamento in tutte le condizioni, anche transitorie, in quanto man mano che la paratoia ruota cambiano le azioni idrostatiche agenti su di essa. Si riportano di seguito le tabelle di calcolo nelle tre configurazioni viste prima, avendo indicato con

- α l'angolo di rotazione;
- H_{libera} l'altezza libera che si crea al di sotto della paratoia con la sua rotazione;
- H_C l'altezza utile della paratoia su cui agiscono le spinte idrostatiche;
- Sc , b_{Sc} e M_{Sc} rispettivamente la spinta idrostatica dovuta al rio Cannas, il suo braccio e il momento risultante;
- Sp , b_{Sp} e M_{Sp} rispettivamente la spinta idrostatica dovuta al rio Picocca, il suo braccio e il momento risultante;
- b_{Pp} e M_{Pp} rispettivamente il braccio e il momento dovuto al peso proprio della paratoia;
- b_{cil} e M_{cil} rispettivamente il braccio e il momento dovuto al peso proprio del cilindro;

alfa	alfa	Hlibera	Hc	Sc	b _{Sc}	M _{Sc}	b _{Pp}	M _{Pp}	b _{cil}	M _{cil}	M _{aper} - M _{chius} > 0
°	rad	m	m	kN/m	m	kNm/m	m	kNm/m	m	kNm/m	-
0	0.00	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.000	0.000	0.750	22.987	22.987
1	0.02	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.041	0.739	0.773	23.679	22.940
2	0.03	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.082	1.478	0.795	24.363	22.885
3	0.05	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.123	2.216	0.817	25.039	22.823
4	0.07	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.164	2.954	0.839	25.708	22.755
5	0.09	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.205	3.690	0.860	26.370	22.679
6	0.10	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.246	4.426	0.882	27.023	22.597
7	0.12	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.286	5.160	0.903	27.668	22.508
8	0.14	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.327	5.893	0.923	28.305	22.412
9	0.16	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.368	6.624	0.944	28.933	22.309
10	0.17	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.408	7.353	0.964	29.552	22.199
11	0.19	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.448	8.079	0.984	30.162	22.083
12	0.21	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.489	8.803	1.004	30.763	21.959
13	0.23	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.529	9.525	1.023	31.354	21.830
14	0.24	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.569	10.243	1.042	31.936	21.693
15	0.26	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.608	10.959	1.061	32.509	21.550
16	0.28	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.648	11.671	1.079	33.071	21.400
17	0.30	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.687	12.379	1.097	33.623	21.244
18	0.31	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.726	13.084	1.115	34.166	21.081
19	0.33	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.765	13.785	1.132	34.697	20.912
20	0.35	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.804	14.482	1.149	35.218	20.737
21	0.37	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.842	15.174	1.166	35.729	20.555
22	0.38	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.880	15.861	1.182	36.228	20.367
23	0.40	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.918	16.544	1.198	36.717	20.173
24	0.42	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.956	17.222	1.214	37.194	19.972
25	0.44	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	0.993	17.894	1.229	37.660	19.766
26	0.45	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.030	18.561	1.244	38.114	19.553
27	0.47	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.067	19.223	1.258	38.557	19.335
28	0.49	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.103	19.878	1.272	38.988	19.110
29	0.51	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.139	20.528	1.286	39.408	18.880

30	0.52	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.175	21.171	1.299	39.815	18.644
31	0.54	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.210	21.808	1.312	40.210	18.402
32	0.56	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.245	22.438	1.324	40.593	18.155
33	0.58	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.280	23.061	1.337	40.963	17.903
34	0.59	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.314	23.677	1.348	41.321	17.644
35	0.61	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.348	24.286	1.359	41.667	17.381
36	0.63	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.381	24.888	1.370	42.000	17.112
37	0.65	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.414	25.482	1.381	42.320	16.838
38	0.66	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.447	26.068	1.391	42.627	16.559
39	0.68	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.479	26.646	1.400	42.921	16.274
40	0.70	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.511	27.217	1.410	43.202	15.985
41	0.72	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.542	27.779	1.418	43.470	15.691
42	0.73	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.572	28.332	1.427	43.724	15.392
43	0.75	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.603	28.877	1.434	43.965	15.089
44	0.77	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.632	29.413	1.442	44.193	14.780
45	0.79	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.662	29.940	1.449	44.408	14.468
46	0.80	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.690	30.458	1.455	44.609	14.151
47	0.82	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.719	30.967	1.462	44.796	13.829
48	0.84	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.746	31.466	1.467	44.970	13.504
49	0.86	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.774	31.956	1.472	45.130	13.174
50	0.87	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.800	32.436	1.477	45.276	12.840
51	0.89	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.826	32.906	1.482	45.408	12.503
52	0.91	0.000	0.000	0.000	2.950	0.000	1.852	33.366	1.485	45.527	12.161

Tabella 19 - Configurazione senza portate defluenti - la paratoia deve rimanere aperta

alfa	alfa	Hlibera	Hpic	Sc	b _{Sc}	M _{Sc}	Sp	b _{Sp}	M _{Sp}	b _{Pp}	M _{Pp}	b _{cil}	M _{cil}	M _{aper} - M _{chius} < 0
°	rad	m	m	kN/m	m	kNm/m	kN/m	m	kNm/m	m	kNm/m	m	kNm/m	-
0	0.00	0.000	4.680	15.022	6.070	91.181	107.431	3.140	337.334	0.000	0.000	0.750	22.987	-299.325
1	0.02	0.001	4.679	15.009	6.070	91.099	107.398	3.140	337.180	0.041	0.739	0.773	23.679	-298.492
2	0.03	0.003	4.677	14.972	6.068	90.854	107.300	3.138	336.717	0.082	1.478	0.795	24.363	-297.382
3	0.05	0.006	4.674	14.911	6.066	90.447	107.136	3.136	335.946	0.123	2.216	0.817	25.039	-295.996

4	0.07	0.011	4.669	14.826	6.062	89.879	106.906	3.132	334.870	0.164	2.954	0.839	25.708	-294.336
5	0.09	0.018	4.662	14.716	6.058	89.151	106.612	3.128	333.490	0.205	3.690	0.860	26.370	-292.404
6	0.10	0.026	4.654	14.583	6.053	88.267	106.252	3.123	331.809	0.246	4.426	0.882	27.023	-290.203
7	0.12	0.035	4.645	14.426	6.047	87.230	105.829	3.117	329.831	0.286	5.160	0.903	27.668	-287.737
8	0.14	0.046	4.634	14.247	6.040	86.042	105.342	3.110	327.560	0.327	5.893	0.923	28.305	-285.009
9	0.16	0.058	4.622	14.045	6.031	84.709	104.791	3.101	325.002	0.368	6.624	0.944	28.933	-282.024
10	0.17	0.071	4.609	13.821	6.022	83.234	104.178	3.092	322.160	0.408	7.353	0.964	29.552	-278.788
11	0.19	0.086	4.594	13.576	6.012	81.623	103.503	3.082	319.042	0.448	8.079	0.984	30.162	-275.304
12	0.21	0.103	4.577	13.310	6.002	79.881	102.768	3.072	315.654	0.489	8.803	1.004	30.763	-271.581
13	0.23	0.120	4.560	13.025	5.990	78.014	101.972	3.060	312.003	0.529	9.525	1.023	31.354	-267.624
14	0.24	0.140	4.540	12.720	5.977	76.029	101.117	3.047	308.097	0.569	10.243	1.042	31.936	-263.440
15	0.26	0.160	4.520	12.398	5.963	73.932	100.205	3.033	303.944	0.608	10.959	1.061	32.509	-259.037
16	0.28	0.182	4.498	12.058	5.949	71.731	99.235	3.019	299.552	0.648	11.671	1.079	33.071	-254.423
17	0.30	0.205	4.475	11.703	5.933	69.434	98.210	3.003	294.932	0.687	12.379	1.097	33.623	-249.606
18	0.31	0.230	4.450	11.332	5.917	67.047	97.130	2.987	290.092	0.726	13.084	1.115	34.166	-244.594
19	0.33	0.256	4.424	10.947	5.899	64.581	95.997	2.969	285.043	0.765	13.785	1.132	34.697	-239.398
20	0.35	0.283	4.397	10.550	5.881	62.043	94.812	2.951	279.794	0.804	14.482	1.149	35.218	-234.026
21	0.37	0.312	4.368	10.140	5.862	59.442	93.577	2.932	274.358	0.842	15.174	1.166	35.729	-228.489
22	0.38	0.342	4.338	9.721	5.842	56.787	92.293	2.912	268.744	0.880	15.861	1.182	36.228	-222.795
23	0.40	0.374	4.306	9.292	5.821	54.088	90.962	2.891	262.965	0.918	16.544	1.198	36.717	-216.956
24	0.42	0.406	4.274	8.856	5.799	51.355	89.586	2.869	257.032	0.956	17.222	1.214	37.194	-210.982
25	0.44	0.440	4.240	8.413	5.776	48.597	88.165	2.846	250.957	0.993	17.894	1.229	37.660	-204.884
26	0.45	0.476	4.204	7.965	5.753	45.824	86.703	2.823	244.752	1.030	18.561	1.244	38.114	-198.672
27	0.47	0.512	4.168	7.514	5.728	43.046	85.200	2.798	238.430	1.067	19.223	1.258	38.557	-192.359
28	0.49	0.550	4.130	7.061	5.703	40.273	83.658	2.773	232.004	1.103	19.878	1.272	38.988	-185.954
29	0.51	0.589	4.091	6.608	5.677	37.516	82.080	2.747	225.485	1.139	20.528	1.286	39.408	-179.469
30	0.52	0.630	4.050	6.156	5.650	34.785	80.467	2.720	218.887	1.175	21.171	1.299	39.815	-172.916
31	0.54	0.671	4.009	5.707	5.622	32.089	78.821	2.692	212.223	1.210	21.808	1.312	40.210	-166.305
32	0.56	0.714	3.966	5.263	5.594	29.439	77.145	2.664	205.505	1.245	22.438	1.324	40.593	-159.649
33	0.58	0.758	3.922	4.824	5.565	26.845	75.440	2.635	198.746	1.280	23.061	1.337	40.963	-152.958
34	0.59	0.804	3.876	4.394	5.534	24.318	73.708	2.604	191.958	1.314	23.677	1.348	41.321	-146.243
35	0.61	0.850	3.830	3.973	5.503	21.866	71.952	2.573	185.156	1.348	24.286	1.359	41.667	-139.516
36	0.63	0.898	3.782	3.564	5.472	19.499	70.173	2.542	178.350	1.381	24.888	1.370	42.000	-132.787

37	0.65	0.946	3.734	3.167	5.439	17.228	68.374	2.509	171.555	1.414	25.482	1.381	42.320	-126.068
38	0.66	0.996	3.684	2.786	5.406	15.060	66.557	2.476	164.780	1.447	26.068	1.391	42.627	-119.368
39	0.68	1.047	3.633	2.421	5.372	13.006	64.725	2.442	158.040	1.479	26.646	1.400	42.921	-112.698
40	0.70	1.100	3.580	2.075	5.337	11.074	62.879	2.407	151.345	1.511	27.217	1.410	43.202	-106.069
41	0.72	1.153	3.527	1.749	5.301	9.272	61.022	2.371	144.708	1.542	27.779	1.418	43.470	-99.489
42	0.73	1.207	3.473	1.445	5.265	7.609	59.155	2.335	138.139	1.572	28.332	1.427	43.724	-92.970
43	0.75	1.263	3.417	1.165	5.228	6.091	57.282	2.298	131.649	1.603	28.877	1.434	43.965	-86.518
44	0.77	1.319	3.361	0.911	5.191	4.727	55.405	2.261	125.249	1.632	29.413	1.442	44.193	-80.145
45	0.79	1.377	3.303	0.684	5.152	3.524	53.526	2.222	118.948	1.662	29.940	1.449	44.408	-73.857
46	0.80	1.435	3.245	0.486	5.113	2.487	51.646	2.183	112.758	1.690	30.458	1.455	44.609	-67.663
47	0.82	1.495	3.185	0.320	5.074	1.623	49.770	2.144	106.686	1.719	30.967	1.462	44.796	-61.570
48	0.84	1.555	3.125	0.186	5.033	0.938	47.898	2.103	100.742	1.746	31.466	1.467	44.970	-55.586
49	0.86	1.617	3.063	0.087	4.992	0.436	46.033	2.062	94.935	1.774	31.956	1.472	45.130	-49.718
50	0.87	1.679	3.001	0.025	4.951	0.123	44.177	2.021	89.271	1.800	32.436	1.477	45.276	-43.970
51	0.89	1.742	2.938	0.000	4.909	0.001	42.334	1.979	83.759	1.826	32.906	1.482	45.408	-38.350
52	0.91	1.806	2.874	0.016	4.866	0.076	40.504	1.936	78.405	1.852	33.366	1.485	45.527	-32.862
53	0.93	1.871	2.809	0.072	4.822	0.349	38.690	1.892	73.215	1.877	33.815	1.489	45.632	-27.511
54	0.94	1.937	2.743	0.172	4.778	0.823	36.894	1.848	68.195	1.901	34.255	1.492	45.722	-22.301
55	0.96	2.004	2.676	0.317	4.734	1.500	35.120	1.804	63.351	1.925	34.684	1.494	45.799	-17.235
56	0.98	2.072	2.608	0.508	4.689	2.382	33.367	1.759	58.687	1.948	35.103	1.496	45.862	-12.317
57	0.99	2.140	2.540	0.747	4.643	3.468	31.640	1.713	54.206	1.971	35.511	1.498	45.911	-7.548
58	1.01	2.209	2.471	1.035	4.597	4.758	29.940	1.667	49.912	1.993	35.908	1.499	45.946	-2.931

Tabella 20 - Configurazione in fase di piena di entrambi i corsi d'acqua - la paratoia deve chiudersi.

alfa	alfa	Hlibera	Hc	Sc	b _{Sc}	M _{Sc}	b _{Pp}	M _{Pp}	b _{cil}	M _{cil}	M _{aper} - M _{chius} > 0
°	rad	m	m	kN/m	m	kNm/m	m	kNm/m	m	kNm/m	-
0	0.00	0.000	1.750	15.022	4.117	61.839	0.000	0.000	0.750	22.987	84.826
1	0.02	0.001	1.749	15.009	4.116	61.781	0.041	0.739	0.773	23.679	84.721
2	0.03	0.003	1.747	14.972	4.115	61.608	0.082	1.478	0.795	24.363	84.493
3	0.05	0.006	1.744	14.911	4.112	61.320	0.123	2.216	0.817	25.039	84.144
4	0.07	0.011	1.739	14.826	4.109	60.919	0.164	2.954	0.839	25.708	83.674

5	0.09	0.018	1.732	14.716	4.105	60.406	0.205	3.690	0.860	26.370	83.085
6	0.10	0.026	1.724	14.583	4.100	59.782	0.246	4.426	0.882	27.023	82.379
7	0.12	0.035	1.715	14.426	4.093	59.051	0.286	5.160	0.903	27.668	81.559
8	0.14	0.046	1.704	14.247	4.086	58.214	0.327	5.893	0.923	28.305	80.626
9	0.16	0.058	1.692	14.045	4.078	57.275	0.368	6.624	0.944	28.933	79.584
10	0.17	0.071	1.679	13.821	4.069	56.238	0.408	7.353	0.964	29.552	78.437
11	0.19	0.086	1.664	13.576	4.059	55.105	0.448	8.079	0.984	30.162	77.188
12	0.21	0.103	1.647	13.310	4.048	53.882	0.489	8.803	1.004	30.763	75.841
13	0.23	0.120	1.630	13.025	4.036	52.572	0.529	9.525	1.023	31.354	74.402
14	0.24	0.140	1.610	12.720	4.024	51.182	0.569	10.243	1.042	31.936	72.875
15	0.26	0.160	1.590	12.398	4.010	49.715	0.608	10.959	1.061	32.509	71.265
16	0.28	0.182	1.568	12.058	3.995	48.177	0.648	11.671	1.079	33.071	69.577
17	0.30	0.205	1.545	11.703	3.980	46.574	0.687	12.379	1.097	33.623	67.818
18	0.31	0.230	1.520	11.332	3.963	44.912	0.726	13.084	1.115	34.166	65.994
19	0.33	0.256	1.494	10.947	3.946	43.197	0.765	13.785	1.132	34.697	64.109
20	0.35	0.283	1.467	10.550	3.928	41.436	0.804	14.482	1.149	35.218	62.172
21	0.37	0.312	1.438	10.140	3.909	39.634	0.842	15.174	1.166	35.729	60.189
22	0.38	0.342	1.408	9.721	3.889	37.799	0.880	15.861	1.182	36.228	58.166
23	0.40	0.374	1.376	9.292	3.868	35.938	0.918	16.544	1.198	36.717	56.110
24	0.42	0.406	1.344	8.856	3.846	34.057	0.956	17.222	1.214	37.194	54.029
25	0.44	0.440	1.310	8.413	3.823	32.163	0.993	17.894	1.229	37.660	51.929
26	0.45	0.476	1.274	7.965	3.800	30.265	1.030	18.561	1.244	38.114	49.818
27	0.47	0.512	1.238	7.514	3.775	28.368	1.067	19.223	1.258	38.557	47.702
28	0.49	0.550	1.200	7.061	3.750	26.480	1.103	19.878	1.272	38.988	45.590
29	0.51	0.589	1.161	6.608	3.724	24.608	1.139	20.528	1.286	39.408	43.488
30	0.52	0.630	1.120	6.156	3.697	22.759	1.175	21.171	1.299	39.815	41.403
31	0.54	0.671	1.079	5.707	3.669	20.941	1.210	21.808	1.312	40.210	39.343
32	0.56	0.714	1.036	5.263	3.641	19.159	1.245	22.438	1.324	40.593	37.315
33	0.58	0.758	0.992	4.824	3.611	17.422	1.280	23.061	1.337	40.963	35.324
34	0.59	0.804	0.946	4.394	3.581	15.735	1.314	23.677	1.348	41.321	33.379
35	0.61	0.850	0.900	3.973	3.550	14.105	1.348	24.286	1.359	41.667	31.486
36	0.63	0.898	0.852	3.564	3.518	12.538	1.381	24.888	1.370	42.000	29.650
37	0.65	0.946	0.804	3.167	3.486	11.041	1.414	25.482	1.381	42.320	27.878

38	0.66	0.996	0.754	2.786	3.452	9.618	1.447	26.068	1.391	42.627	26.177
39	0.68	1.047	0.703	2.421	3.418	8.277	1.479	26.646	1.400	42.921	24.551
40	0.70	1.100	0.650	2.075	3.384	7.021	1.511	27.217	1.410	43.202	23.006
41	0.72	1.153	0.597	1.749	3.348	5.856	1.542	27.779	1.418	43.470	21.547
42	0.73	1.207	0.543	1.445	3.312	4.786	1.572	28.332	1.427	43.724	20.178
43	0.75	1.263	0.487	1.165	3.275	3.815	1.603	28.877	1.434	43.965	18.904
44	0.77	1.319	0.431	0.911	3.237	2.948	1.632	29.413	1.442	44.193	17.729
45	0.79	1.377	0.373	0.684	3.199	2.188	1.662	29.940	1.449	44.408	16.655
46	0.80	1.435	0.315	0.486	3.160	1.537	1.690	30.458	1.455	44.609	15.688
47	0.82	1.495	0.255	0.320	3.120	0.998	1.719	30.967	1.462	44.796	14.828
48	0.84	1.555	0.195	0.186	3.080	0.574	1.746	31.466	1.467	44.970	14.078
49	0.86	1.617	0.133	0.087	3.039	0.266	1.774	31.956	1.472	45.130	13.440
50	0.87	1.679	0.071	0.025	2.997	0.074	1.800	32.436	1.477	45.276	12.915
51	0.89	1.742	0.008	0.000	2.955	0.001	1.826	32.906	1.482	45.408	12.504
52	0.91	1.806	-0.056	0.016	2.912	0.045	1.852	33.366	1.485	45.527	12.207

Tabella 21 - Configurazione post piena del Picocca – la paratoia deve aprirsi per permettere il deflusso delle acque accumulate dal Cannas

7.4 Cassa di laminazione

Al capitolo precedente si è detto che la chiavica ha un grosso difetto che non può essere risolto se non attraverso la realizzazione di altre opere, ossia non permette al Cannas di scaricare le proprie acque qualora il rio Picocca abbia dei livelli tali da serrarla.

Per ovviare al problema si è scelto di realizzare un argine fuori terra in sinistra idraulica del rio Cannas che si raccordi con quello del rio Picocca. In questo modo si risolvono due importanti problemi:

1. qualora la chiavica fosse chiusa e il rio Cannas non avesse modo di scaricare le proprie acque, si creerebbe un effetto invaso sfruttando l'area posta in destra idraulica ovvero si genererebbe una cassa di laminazione in linea sul corso d'acqua;
2. un eventuale malfunzionamento della chiavica potrebbe far sì che le acque del Picocca entrino nell'area sul lato campagna del suo argine sinistro trovando però l'impedimento dell'argine sinistro del Cannas in direzione dell'abitato di San Priamo, il quale rimarrebbe così al sicuro dalle piene di entrambi i rii.

In figura si riporta l'area da destinare all'espansione delle piene:

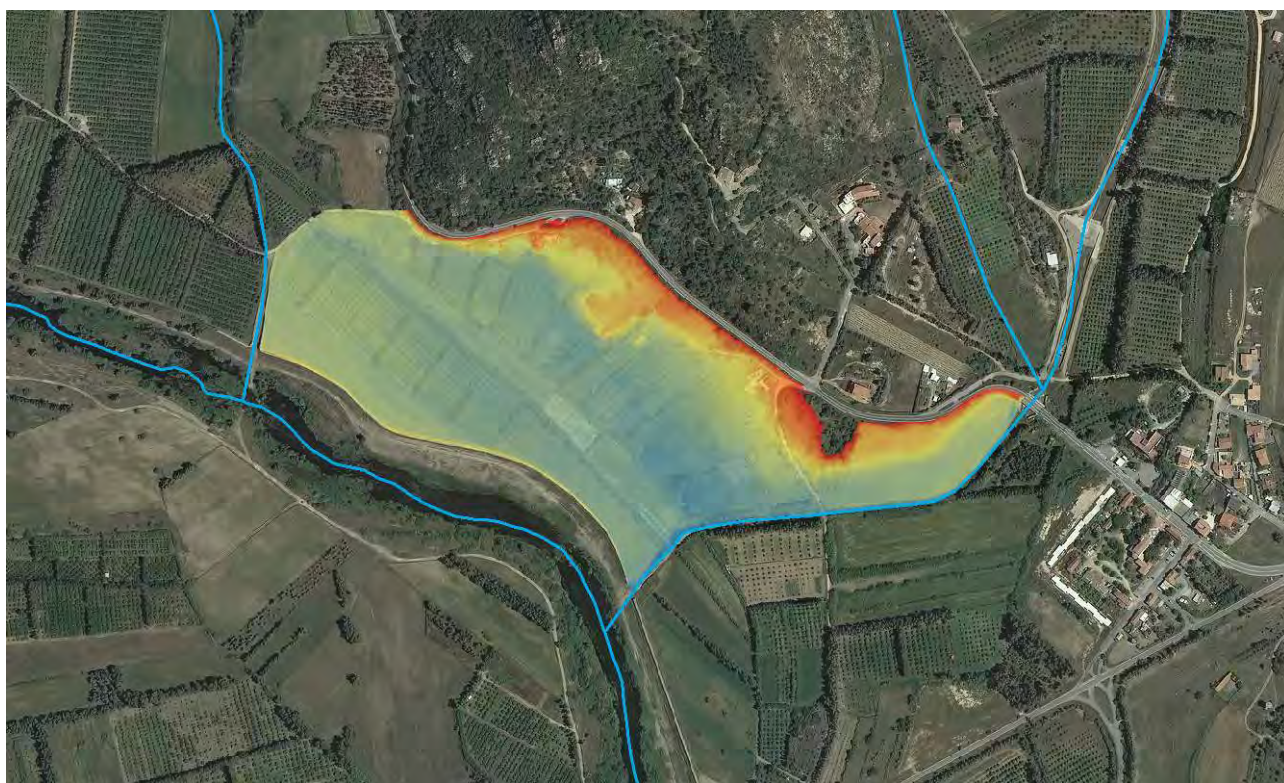


Figura 29 - Cassa di laminazione (dal blu al rosso in ordine crescente di quota sul livello del mare)

In questa fase progettuale non è stata eseguita una modellazione idraulica del funzionamento della cassa di laminazione ma ci si è limitati a stimare il volume della piena duecentennale e a valutare la quota di invaso

corrispondente. Per far ciò si è preliminarmente determinata la curva volumi altezze secondo il seguente procedimento:

1. si sono definiti i confini della cassa di espansione costituiti sul lato nord dalla strada SS 125, ad ovest e sud dagli argini del rio Picocca e a sud est dall'argine in sinistra del rio Cannas di cui sopra;
2. partendo dal DTM con passo a 1 metro si sono determinate le curve di livello con un intervallo di quota di 0,25 m;
3. per ogni quota si sono individuate le relative aree di competenza;
4. ipotizzando battenti idrici crescenti, si sono calcolati i volumi invasabili come prodotto tra i tiranti e le corrispondenti aree interessate.

Dalla suddetta analisi si ottiene il diagramma riportato in figura 30. Si sottolinea a tal proposito che la quota sommitale della cassa corrisponderà alla quota sommitale degli argini per cui sarà pari a 10,58 m slm (si veda la tabella 17 al capitolo 7.2). Considerando che la quota inferiore è pari a 5,75 m slm, il massimo battente sarà pari a 4,83 m.

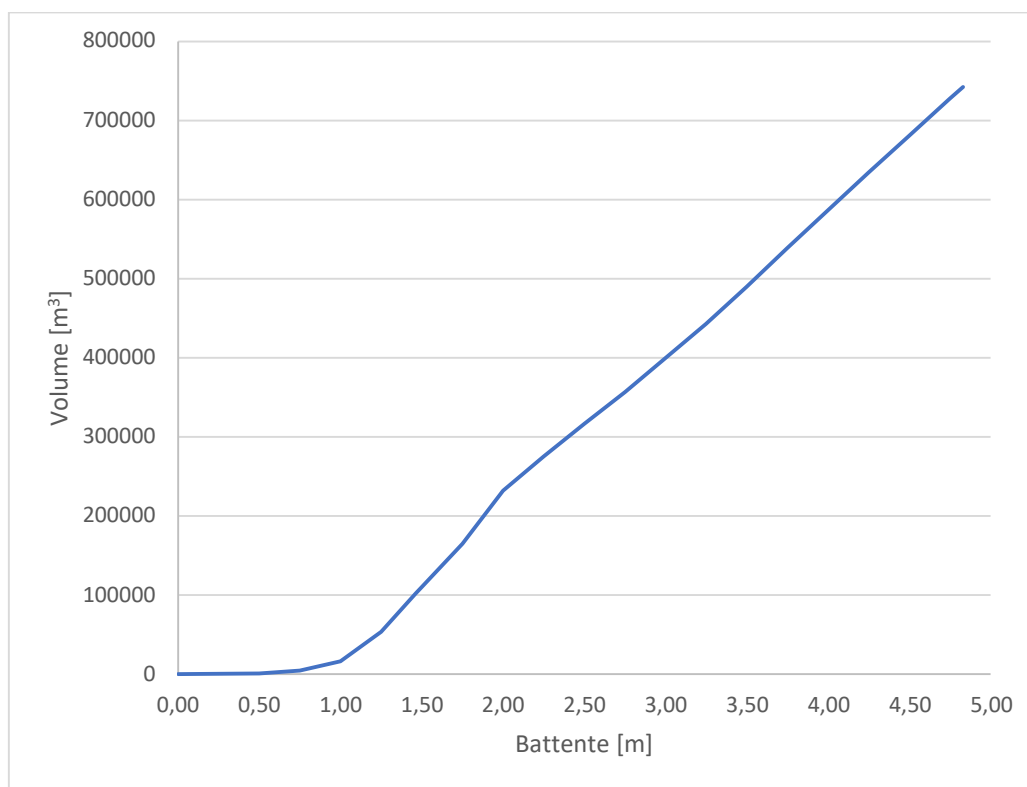


Figura 30 - Curva altezze – volumi invasabili

CdL	Battente	Area i-esima	Area cumulata	Area cumulata	Volume
m slm	m	m ²	m ²	ha	m ³
5.75	0.00	341.76	341.76	0.03	0
6.00	0.25	231.02	572.78	0.06	143

6.25	0.50	890.60	1463.38	0.15	732
6.50	0.75	4616.81	6080.19	0.61	4560
6.75	1.00	10101.41	16181.60	1.62	16182
7.00	1.25	26552.18	42733.78	4.27	53417
7.25	1.50	30745.43	73479.21	7.35	110219
7.50	1.75	20550.45	94029.66	9.40	164552
7.75	2.00	21949.61	115979.27	11.60	231959
8.00	2.25	6395.96	122375.23	12.24	275344
8.25	2.50	4260.13	126635.36	12.66	316588
8.50	2.75	3083.80	129719.16	12.97	356728
8.75	3.00	3417.60	133136.76	13.31	399410
9.00	3.25	3170.58	136307.34	13.63	442999
9.25	3.50	3621.68	139929.02	13.99	489752
9.50	3.75	3778.50	143707.52	14.37	538903
9.75	4.00	2964.39	146671.91	14.67	586688
10.00	4.25	2555.79	149227.70	14.92	634218
10.25	4.50	2132.70	151360.40	15.14	681122
10.50	4.75	1922.94	153283.34	15.33	728096
10.58	4.83		153723.02	15.37	742557

Tabella 22 - Flusso di calcolo della curva volumi altezze

Definiti i volumi invasabili della cassa di espansione si deve valutare quale sia il volume d'acqua della piena di progetto del rio Cannas, e più precisamente della piena con tempo di ritorno di 200 anni. Questo può essere fatto una volta noto l'idrogramma di piena la cui determinazione è stata condotta secondo l'approccio modellistico implementato nel software Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) della U.S. Army Corps of Engineers.

I dati di input inseriti sono:

- shapefile dei bacini e delle aste fluviali;
- dimensioni del bacino e valori del CN;
- ietogramma di progetto;
- lag time, posto pari al 50% del tempo di pioggia, rappresenta il tempo di ritardo, ovvero la distanza temporale tra il baricentro dello ietogramma e il picco dell'idrogramma risultante.

Come ietogramma di progetto si è scelto lo ietogramma Chicago con durata pari al tempo di corrivazione del bacino (0,58 ore), posizione del picco posto in $r = 0,4$ e con passo temporale Δt pari ad 1 minuto. I calcoli sono stati condotti sulla base dei parametri idrologici già definiti al punto 5.3 della presente relazione.

I valori delle intensità di precipitazione necessarie per la definizione dello ietogramma Chicago si ottengono mediante le seguenti relazioni:

$$i(t) = na \left(\frac{rt_p - t}{r} \right)^{n-1} \quad t < rt_p$$

$$i(t) = na \left(\frac{t - rt_p}{1 - r} \right)^{n-1} \quad t > rt_p$$

Di seguito si riporta lo ietogramma ottenuto per un tempo di ritorno di 200 anni, sia in forma grafica che in forma tabellare, avendo indicato con i e h rispettivamente l'intensità e l'altezza di precipitazione istante per istante e con P la precipitazione cumulata.

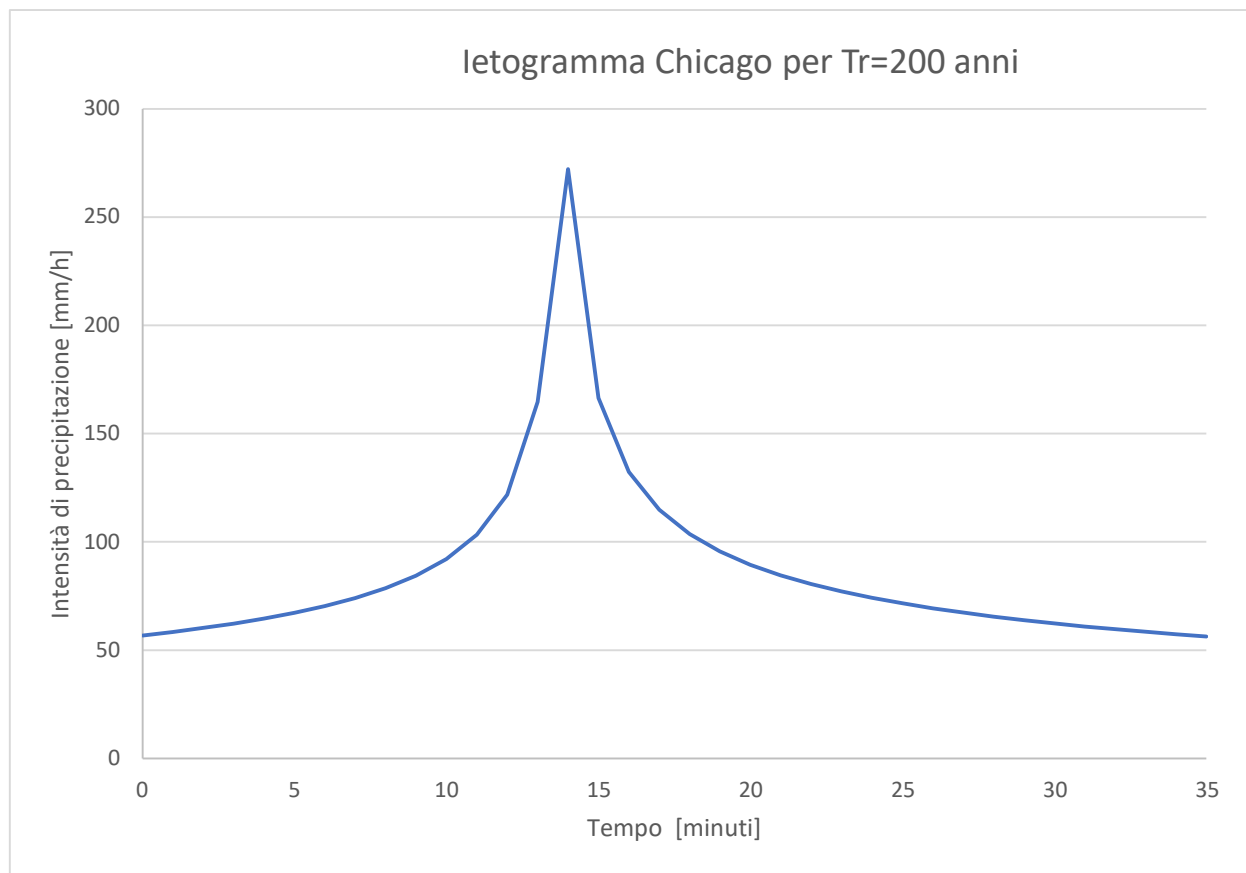


Figura 31 - Ietogramma Chicago per $Tr=200$ anni

Tempo minuti	Tempo ore	i mm/ora	h mm	P mm
0	0.000	56.83	0.95	0.95
1	0.017	58.45	0.97	1.92
2	0.033	60.26	1.00	2.93
3	0.050	62.30	1.04	3.96
4	0.067	64.61	1.08	5.04
5	0.083	67.27	1.12	6.16
6	0.100	70.38	1.17	7.34
7	0.117	74.10	1.23	8.57
8	0.133	78.65	1.31	9.88
9	0.150	84.43	1.41	11.29
10	0.167	92.15	1.54	12.82
11	0.183	103.30	1.72	14.55
12	0.200	121.82	2.03	16.58
13	0.217	164.62	2.74	19.32
14	0.233	272.14	4.54	23.86
15	0.250	166.37	2.77	26.63
16	0.267	132.24	2.20	28.83
17	0.283	114.79	1.91	30.75
18	0.300	103.61	1.73	32.47
19	0.317	95.60	1.59	34.07
20	0.333	89.48	1.49	35.56
21	0.350	84.58	1.41	36.97
22	0.367	80.54	1.34	38.31
23	0.383	77.13	1.29	39.59
24	0.400	74.19	1.24	40.83
25	0.417	71.63	1.19	42.02
26	0.433	69.36	1.16	43.18
27	0.450	67.34	1.12	44.30
28	0.467	65.51	1.09	45.39
29	0.483	63.86	1.06	46.46
30	0.500	62.35	1.04	47.50
31	0.517	60.96	1.02	48.51
32	0.533	59.68	0.99	49.51
33	0.550	58.49	0.97	50.48
34	0.567	57.39	0.96	51.44
35	0.583	56.35	0.94	52.38

Tabella 23 - Ietogramma Chicago in forma tabellare

Sulla base dello ietogramma calcolato e dei parametri caratteristici dei bacini si è calcolato con il metodo SCS l'idrogramma di piena attraverso HEC-HMS, di cui si riportano i risultati:

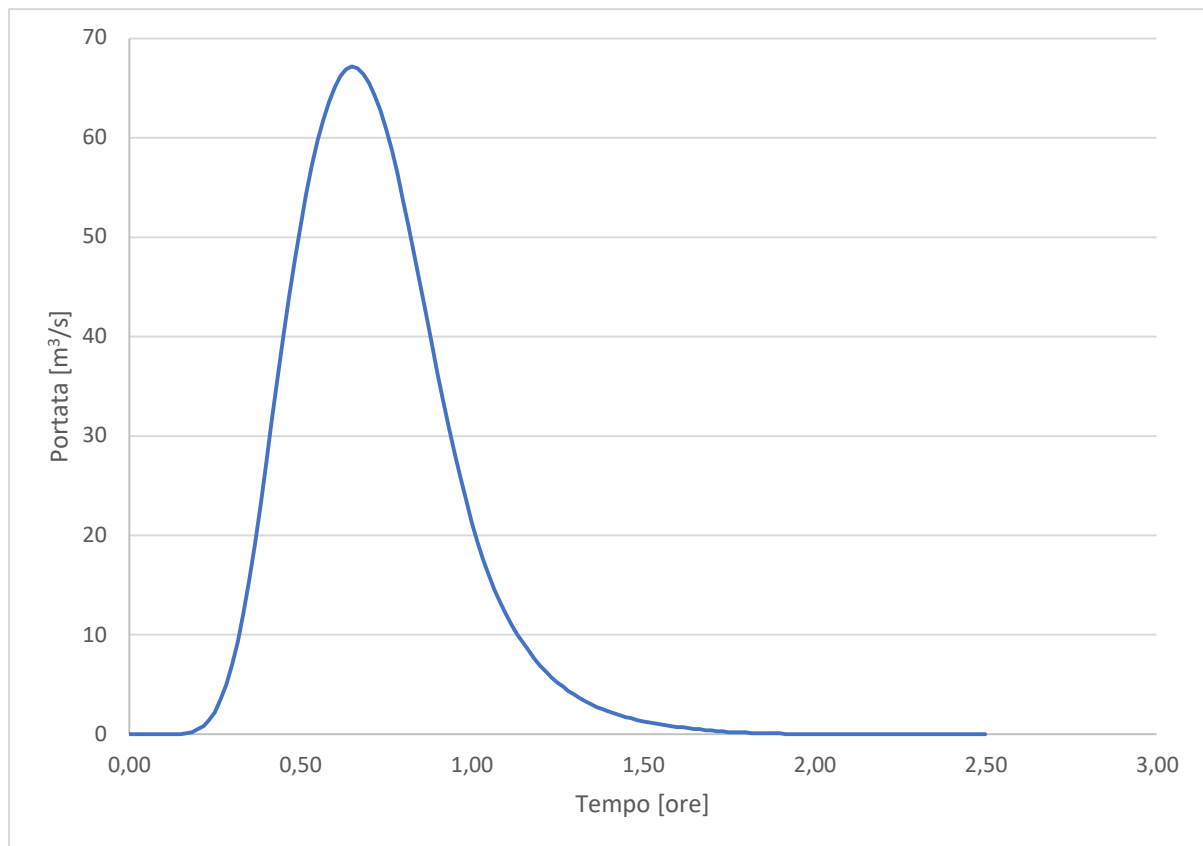


Figura 32 - Idrogramma per $T_r=200$ anni

Si osserva come il picco di piena risulti essere leggermente maggiore rispetto a quanto calcolato con la formula razionale in precedenza. Ciò è dovuto al fatto che quest'ultima è frutto di varie ipotesi e semplificazioni tali da non tenere in conto la variabilità nel tempo delle precipitazioni e della risposta del bacino ad esse.

L'area sottesa dalla curva rappresenta il volume di piena, ovvero il valore che dobbiamo individuare al fine di dimensionare correttamente la cassa di espansione, ed è pari a 128.118 m³. Sulla base della tabella 22 si ottiene un battente rispetto al punto più depresso della cassa di 1,58 m, ovvero una quota di 7,33 m slm.

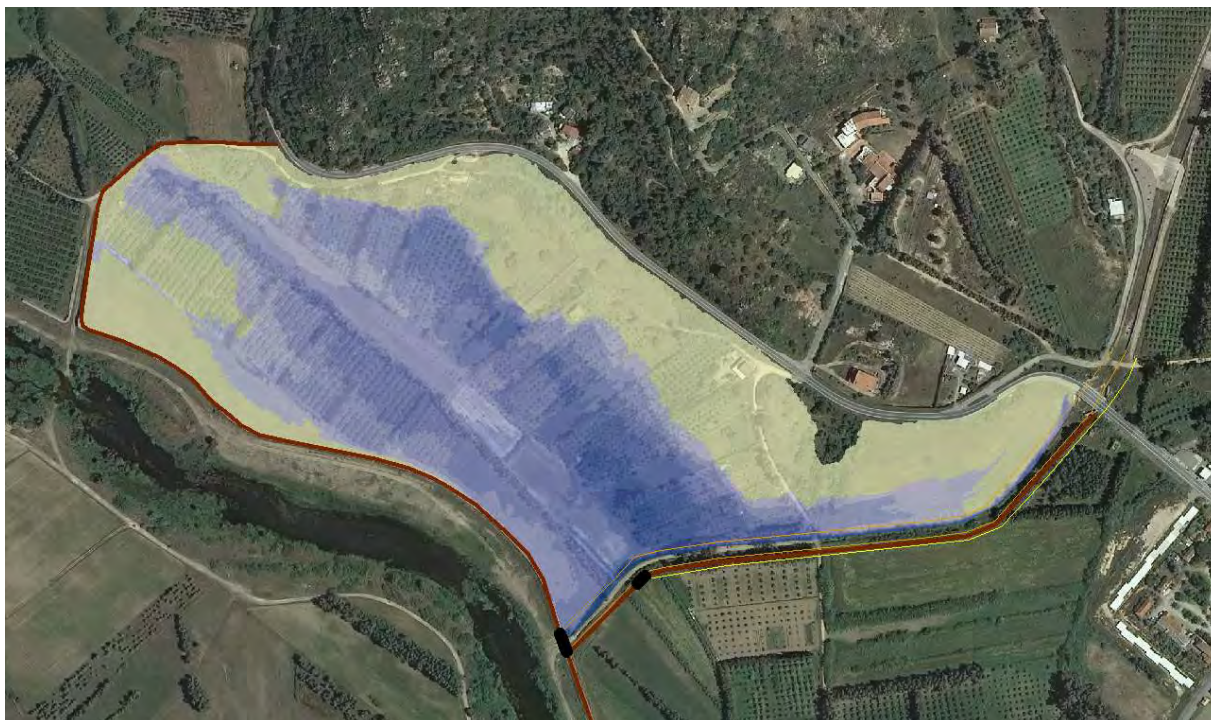


Figura 33 - In blu (con tonalità più scure all'aumentare del battente) le aree interessate dall'espansione della piena con tempo di ritorno di 200 anni e chiavica chiusa, in giallo le altre aree della cassa

L'argine in sinistra idraulica del rio Cannas genererebbe una disconnessione idraulica tra la porzione del bacino sul lato campagna e il rio medesimo per cui si rende necessario prevedere anche un canale di colo a tergo dell'arginatura in modo che le acque drenante in quest'area possano essere raccolte e allontanate mediante una chiavica.

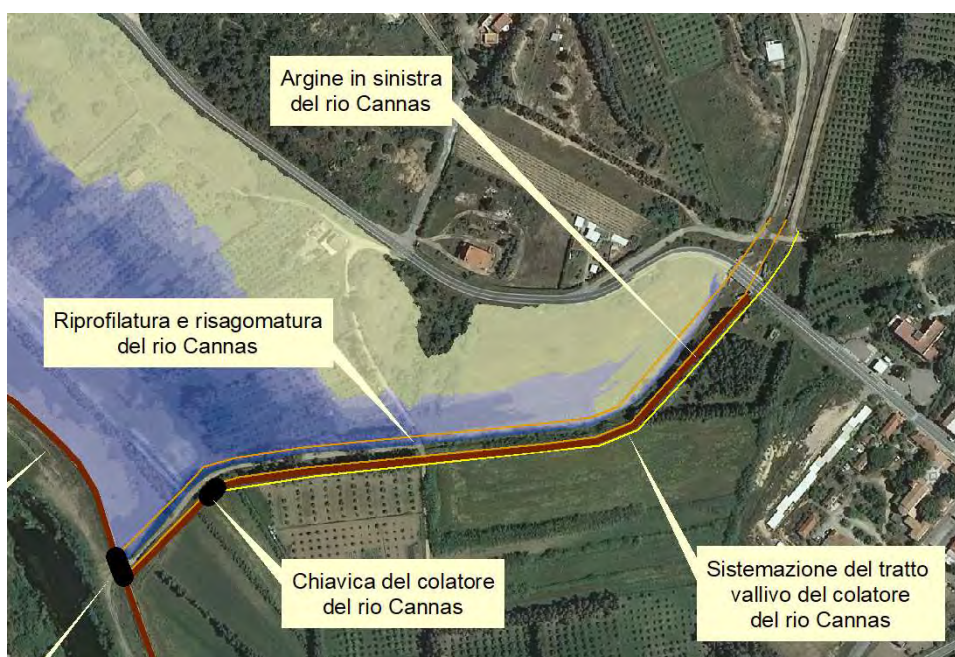


Figura 34 - Canale colatore sinistro del rio Cannas

Va precisato che sono già presenti un canale colatore in sinistra del rio Cannas che raccoglie le acque dell'area a monte della SS125 e l'attraversamento con tombino della strada stessa. Quest'ultimo risulta essere ad oggi ostruito e nascosto dalla vegetazione per cui sarà necessario il ripristino dello stato dei luoghi così da garantirne la funzionalità.

Visto quanto detto appare evidente la convenienza di proseguire il canale colatore già esistente, raccordando l'ultimo tratto a monte della SS125 con il tombino, e il tombino con la porzione in progetto del colatore che correrà parallelamente all'argine del rio Cannas fino al punto più depresso in cui è stata prevista una chiavica col fine di scaricare le acque quando il corso d'acqua principale non si trova in piena.

Per eseguire un dimensionamento di massima si è calcolata la portata utilizzando il metodo dei contributi unitari per cui, noto il bacino da drenare pari a circa 28 ha (considerato anche il tratto a monte già realizzato), si ottengono le seguenti portate:

Tr [anni]	10	50	100	200	500
Q [m ³ /s]	1.33	2.57	3.13	3.71	4.50

Tabella 24 - Portate relative al canale colatore in sinistra

Essendo un canale di dreno eseguiamo i calcoli idraulici con un tempo di ritorno di 100 anni a franco annullato ipotizzando un moto uniforme in una sezione trapezia con base inferiore di 1,50 m, sponde con inclinazione di 3/2 e pendenza media del fondo del 0,2%, Con la legge di Chezy si ottiene un'altezza pari a 0,91 m per cui la sezione avrà profondità di 1 m.

La chiavica da inserire per lo scarico nel rio Cannas è la classica valvola antireflusso a Clapet con diametro nominale da 800 mm.